

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

**INDICADORES DE VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA
EM SUB BACIAS DO RIO MIRANDA**

LINCOLN CORRÊA CURADO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como pré requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen

CAMPO GRANDE – MS
2003

“Estudar as manifestações da natureza é trabalho que agrada a Deus. É o mesmo que rezar e orar. Procurando conhecer as leis naturais, glorificando o primeiro inventor, o artista do universo, se aprende a amá-lo, pois que um grande amor a Deus nasce de um grande saber”.

Leonardo da Vinci.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob a orientação do Prof. Dr. Jorge Luiz Steffen da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, com uma bolsa de estudos ao longo do curso de pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta de muitas pessoas. Manifesto minha gratidão primeiramente a Deus e aos meus pais pela vida.

Ao professor Doutor Jorge Luiz Steffen, meu orientador pelo apoio.

Aos colegas e, em especial, aos professores, Dr. Carlos Nobuyoshi Ide, professor Mestre Manoel Afonso Costa Rondon, professor Mestre Mauro Polizer, pela amizade.

À Yolanda Maria da Silva Souza, pela editoração e revisão gramatical do texto.

Aos meus familiares, pela paciência, amor e incentivo.

RESUMO

INDICADORES DE VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA EM SUB BACIAS DO RIO MIRANDA

Devido ao crescimento populacional e econômico, Mato Grosso do Sul é uma das regiões de expansão da fronteira agrícola no país e por isso pressiona os recursos hídricos, que aliado à ocorrência de estiagem podem causar degradação do meio ambiente. Um requisito para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água, é a manutenção de uma vazão mínima que suporte o ecossistema aquático, chamadas de residuais, remanescentes, ecológicas ou ambientais. O objetivo central deste trabalho foi aplicar métodos para o estabelecimento desta vazão mínima, definida através de valores numéricos que representem a quantidade de água que deve permanecer no leito do rio. A metodologia proposta para determinação dos índices e indicadores das vazões mínimas de referência foi aplicada preliminarmente a uma seção no Rio Aquidauana e posteriormente, repetida para comparação a outra seção no Rio Miranda. Os dados fluviométricos observados passaram por uma análise de consistência, e foram trabalhados estatisticamente para a obtenção dos índices e indicadores. Um teste de verificação foi efetuado para um posto dentro da área em estudo, com dados disponíveis, fazendo-se a interpolação com a proporção de áreas e determinados os erros relativos percentuais. Os resultados encontrados representam adequadamente a variabilidade temporal das vazões e mostram a importância do método, para determinar as vazões mínimas em locais sem medições.

Palavra chave: Vazão mínima; Curva de permanência de vazões; Frequência de vazões mínimas; Depleção; Vazão subterrânea; Rio Aquidauana; Rio Miranda.

ABSTRACT

Due to population and economic growth, Mato Grosso do Sul is undergoing an expansion of its agricultural frontier. This is placing a burden on the water resources, that allied to drought, can lead to environmental degradation. One requirement to permit continuity in water use is the maintenance of minimum flow for aquatic ecosystem support, also termed the residual, reminiscent, ecological or environmental flow. The main aim of the present study was to apply the methods used to establish this minimum flow, defined by numeric values representing the volume of water that must remain in the river. The proposed methodology to determine the indices and indicators of the minimum reference flows was preliminarily applied to a section of the River Aquidauana, and, thereafter, repeated for a section of the River Miranda, for purposes of comparison. Observed fluvial data was subjected to consistency analysis, and statistical tools used to obtain the indices and indicators values. A verification test was performed at a station inside the study area, using the available data, interpolating with the proportions of the areas and the percentile relative errors determined. The obtained results accurately represent the temporal flow variation and demonstrate the importance of the method to determining the minimum required flow in places lacking measurements.

Palavra chave: Low flow; Flow duration curve; Low-flow frequency; Recessions; Baseflow; River Aquidauana; River Miranda.

SUMÁRIO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO.....	i
APRESENTAÇÃO	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	4
3.2. ASPECTOS LEGAIS	8
3.3. DEFINIÇÕES	9
3.4. OUTORGA	11
3.5. ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	13
3.5.1. Freqüência.....	14
3.5.2. Permanência.....	15
3.5.3. Depleção	15
3.6. INDICADORES DE VAZÃO.....	17
3.6.1: Vazão máxima.....	17
3.6.2. Vazão média.....	18
3.6.3. Vazão mínima	18
3.7. REGIONALIZAÇÃO	19
4. METODOLOGIA.....	21
4.1. DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	21
4.2. ESCOLHA DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS	25
4.3. ANÁLISE DOS DADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS..	26
4.4. RESUMO DAS INFORMAÇÕES	27
4.5. REPRESENTATIVIDADE DA SÉRIE DE DADOS	28
4.6. FREQUÊNCIA	29
4.7. PERMANÊNCIA.....	29

4.8. DEPLEÇÃO.....	30
4.9. VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	31
4.9.1. Previsão da vazão de estiagem	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. ANÁLISE DOS DADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS..	34
5.2. RESUMO DAS INFORMAÇÕES	39
5.2.1. Cadastro anual dos postos fluviométricos Aquidauana e km 21 - Miranda	39
5.2.2. Cadastro mensal dos postos fluviométricos Aquidauana e km 21 - Miranda.....	44
5.3. REPRESENTATIVIDADE DA SÉRIE DE DADOS	51
5.5. FREQUÊNCIA	54
5.6. PERMANÊNCIA.....	56
5.7. DEPLEÇÃO.....	62
5.8. VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	65
5.8.1. Previsão da vazão de estiagem	66
5.8.2. Verificação dos indicadores de estiagem	67
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
6.1. CONCLUSÕES	70
6.2. RECOMENDAÇÕES	71
7. REFERÊNCIAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Série temporal das cotas mínimas e máximas anuais do Rio Paraguai.....	6
Figura 4.1. Bacia do Alto Paraguai	22
Figura 4.2. Bacia hidrográfica do Rio Miranda.....	23
Figura 4.3. Mapa esquemático do aquífero Guarani.	24
Figura 5.1. Exemplo dos arquivos constantes no banco de dados da ANA.	33
Figura 5.2. Seção transversal do posto Aquidauana nos anos de 1995 a 2000	37
Figura 5.3. Seção transversal do posto km 21 – Miranda nos anos 1995 a 2001	37
Figura 5.4. Cotograma diário de junho a setembro de 2000 do posto Aquidauana.....	39
Figura 5.5. Vazão adimensional mínimas do rio Aquidauana – diário, 7 dias e mensal.....	42
Figura 5.6. Vazão adimensional mínimas do rio Miranda – diário, 7 dias e mensal.	42
Figura 5.7. Ocorrência das vazões mínimas anuais de 7 dias de duração.....	44
Figura 5.8. Variabilidade da vazão mensal do posto Aquidauana, período de 1968/2002 e o ano de 1970	48
Figura 5.9. Variabilidade da vazão mensal do posto km 21 - Miranda, período de 1969/1995 e o ano de 1970	48
Figura 5.10. Variabilidade adimensional 1 do posto Aquidauana, 1968/2002 e anos atuais...	49
Figura 5.11. Variabilidade adimensional 2 do posto Aquidauana, 1968/2002 e anos atuais...	49
Figura 5.12. Variabilidade adimensional 1 dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda	50
Figura 5.13. Variabilidade adimensional 2 dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda	50
Figura 5.14. Vazão anual adimensional dos postos do Rio Aquidauana e Miranda.	54
Figura 5.15. Curva de permanência mensal dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda, 1968/2002.....	57
Figura 5.16. Curva de permanência para cada mês do posto Aquidauana e km 21 - Miranda	59
Figura 5.17. Curvas de permanências para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002 e os anos de 1968/1970	60
Figura 5.18. Curvas de permanências para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002 e anos 2000/2002 do posto Aquidauana.....	60
Figura 5.19. Comparativo entre a permanências mensal e diárias do posto Aquidauana	61

Figura 5.20. Depleção diária para o posto Aquidauana	63
Figura 5.21. Depleção diária para o posto km 21 - Miranda.....	63
Figura 5.22. Verificação da utilização do método e os valores do ano de 2001 e 2002	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Vazão mínima diária medidas no período de 1968/1971	5
Tabela 3.2. Critérios de Outorga de Direitos de Uso de Água em Alguns Estados Brasileiros.	12
Tabela 5.1. Falhas de leitura das cotas nos postos Aquidauana e km 21 - Miranda	34
Tabela 5.2. Resumo de falhas das cotas dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda.....	34
Tabela 5.3. Tabela de cota x vazão do posto Aquidauana nos períodos apresentados.....	35
Tabela 5.4. Resumo de medições de vazão do posto Aquidauana	35
Tabela 5.5. Tabela cota x vazão para o posto km 21 - Miranda.....	36
Tabela 5.6. Resumo de medições de vazão do posto km 21 - Miranda.....	36
Tabela 5.7. Exemplo de manipulação da série histórica de vazão	38
Tabela 5.8. Cadastro anual do posto Aquidauana (vazões em m ³ /s), 1968/2002.....	40
Tabela 5.9. Cadastro anual do posto km 21 – Miranda (vazões em m ³ /s), 1969/1995	41
Tabela 5.10. Resumo da variabilidade das vazões do posto Aquidauana	43
Tabela 5.11. Resumo da variabilidade das vazões do posto km 21 - Miranda.....	43
Tabela 5.12. Ocorrência das vazões mínimas anuais de 7 dias de duração.....	43
Tabela 5.13. Cadastro mensal do posto Aquidauana (vazões em m ³ /s)	45
Tabela 5.14: Cadastro mensal do posto km 21 – Miranda (vazões em m ³ /s).....	46
Tabela 5.15. Variabilidade de vazões mensais do posto Aquidauana, 1968/2002	47
Tabela 5.16. Variabilidade de vazões mensais no posto km 21 – Miranda, 1969/1995	47
Tabela 5.17. Série de vazões anuais do postos do Rio Aquidauana e Miranda (m ³ /s).....	52
Tabela 5.18. Análise de consistência dos postos do Rio Aquidauana e Miranda, 1968/2002.....	53
Tabela 5.19. Médias interdecadais para os períodos de estiagem e cheias do posto Aquidauana	53
Tabela 5.20. Comparação da representatividade das vazões em m ³ /s do posto Aquidauana..	53
Tabela 5.22. Cálculo do tempo de retorno para vazões mínimas de diversas durações.....	55
Tabela 5.23. Indicadores e índice de vazão selecionados para o estudo, 1968/2002	55
Tabela 5.24. Cálculo da permanência mensal do posto Aquidauana, 1968/2002	56
Tabela 5.25. Permanências mensais dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda (m ³ /s).....	56
Tabela 5.26. Permanência para cada mês do posto Aquidauana, 1968/2002.....	58
Tabela 5.27. Permanência para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002.....	58
Tabela 5.28. Permanência para cada mês do posto km 21-Miranda no período 1969/1995...	59

Tabela 5.29. Resumo das permanências de cada ano do posto Aquidauana (m^3/s)	61
Tabela 5.30. Depleção diária para o posto Aquidauana	62
Tabela 5.31. Depleção diária para o posto km 21 Miranda.....	62
Tabela 5.31. Constante de recessão dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda	64
Tabela 5.32. Tempo de meia vida (HFP) em dias para o posto Aquidauana	64
Tabela 5.33. Tempo de meia vida (HFP) em dias para o posto km 21 - Miranda.....	64
Tabela 5.34. Verificação da metodologia proposta para bacia sem dados (m^3/s)	65
Tabela 5.35. Verificação da metodologia proposta para bacia com poucos dados	65
Tabela 5.36. Verificação do método para 2001 e 2002	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAP	Bacia do Alto Paraguai
CECA	Conselho Estadual de Controle Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S/A
FEMAP.....	Fundação Estadual de Meio Ambiente Pantanal
HFP	Tempo de meia vida de uma vazão, na ausência de precipitação.
IPH.....	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da bacia hidrográfica
C	Coeficiente de escoamento
S	Volume armazenado de água no reservatório subterrâneo
dS/dt	Variação da quantidade de água armazenada por unidade de tempo
E	Evaporação
E_{Tr}	Quantidade de água evapotranspirada por unidade de tempo
e	Número de Euler
i	Número de ordem da série
K_b	Constante de recessão do escoamento subterrâneo
km^2	Quilômetro quadrado
$L/s. km^2$	Litros por segundo por quilômetro quadrado
m^3/s	Metros cúbicos por segundo
MAM7	Média das vazões mínimas anuais de sete dias consecutivos
N	Número total de valores da série de dados
P	Precipitação
Q	Vazão fluvial
Q_0	Vazão inicial
Q_{50}	Vazão com 50% do tempo da curva de permanência mensal
Q_{90}	Vazão com 90% do tempo da curva de permanência mensal
Q_{95}	Vazão com 95% do tempo da curva de permanência mensal
Q_b	Quantidade de água subterrânea escoada por unidade de tempo
Q_{lp}	Vazão média de longo período
Q_{mm}	Vazão média anual para cada mês
Q_{ma}	Vazão média anual
Q_s	Quantidade de água escoada superficialmente
Q_{95}/Q_{lp}	Índice da contribuição subterrânea no total da vazão do rio
Q_{90}/Q_{50}	Índice da contribuição subterrânea no total da vazão do rio
${}^7Q_{10}$	Vazão mínima de sete dias com período de retorno de dez anos
R^2	Coeficiente de determinação
T	Tempo de retorno
t	Tempo
α	Coeficiente de recessão, parâmetro da equação exponencial

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade hidrológica é entendida como as alterações espaço temporais que possam ocorrer nas variáveis de entrada e saída dos sistemas hidrológicos. A principal entrada é a precipitação, enquanto que a principal variável de saída é a vazão de um rio. Os processos que definem a variabilidade da vazão, estão sujeitos a vários fatores: condições climáticas que caracterizam o escoamento superficial e os volumes infiltrados, e a geologia, que define as condições do escoamento subterrâneo e as vazões de estiagem, que representa a quantidade das águas de um rio em condições de vazão mínima.

A determinação da vazão mínima e da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, realizadas com base em registros de vazão, dependem da existência de séries históricas que sejam longas, para serem representativas da estiagem local, e estacionárias, que são aquelas em que suas estatísticas não se alteram devido às mudanças na bacia.

Sabe-se que a disponibilidade hídrica depende do conhecimento adequado das vazões em pequenas bacias hidrográficas e que no Brasil, existem poucos postos fluviométricos, pois a rede hidrológica foi instalada em grandes bacias hidrográficas cujo objetivo principal era o aproveitamento energético. Além do mais, os custos de monitoramento de pequenas bacias são altos e ainda existe a dificuldade em cobrir todo o território brasileiro. Por isso, as entidades federais e estaduais utilizam a regionalização hidrológica como forma de espacializar as informações necessárias à tomada de decisão, mas que, apesar de ser uma ferramenta útil para o conhecimento hidrológico espacial, apresenta sérias limitações à extrapolação dos seus resultados para bacias de menor porte, gerando incertezas na tomada de decisão. Assim, a regionalização não substitui as informações, mas busca apenas uma melhor estimativa, em face das incertezas existentes.

Os estudos hidrológicos permitem conhecer a quantidade de água de um ecossistema e seu comportamento. Uma rede hidrométrica dificilmente cobre todos os locais de interesse, necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, sempre existindo lacunas temporais e espaciais. Em regiões de abundância do recurso, como é o caso da região em estudo, há um forte apelo para que os recursos hídricos sejam utilizados de forma a proporcionar o desenvolvimento econômico e social. Sendo assim, o conhecimento da magnitude e da frequência das vazões mínimas, são importantes para o plano de gestão dos recursos hídricos, incluindo a outorga e o conhecimento da estiagem para determinar um

sistema de alerta e restrição de uso, nos eventos mais críticos, necessário para a preservação ambiental.

A estimativa da disponibilidade hídrica leva em consideração dois fatores fundamentais: as condições hidrológicas, que representam o estado do curso d'água quanto à quantidade, e, a qualidade da água. Essa estimativa depende do adequado conhecimento das vazões dos rios. Quando se utiliza somente a concentração para definir as condições ambientais, pode-se cometer erros grosseiros, como por exemplo, medir a concentração somente em dias chuvosos, quando a capacidade de diluição é maior, em se comparando com o período seco.

Por isso, tornou-se necessário verificar, se a séries de vazões dos Rios Aquidauana e Miranda eram longas, para serem representativas do período crítico de estiagem na bacia; se os valores eram independentes para tratamento estatístico; se existia um resumo das medições efetivas de vazão com as respectivas cotas, para verificar as mudanças da relação cota x vazão ao longo do período analisado e se a seção de medição é móvel ou estável.

As principais características verificadas foram: a vazão mínima de diversas durações (1 e 7 dias, mensal e anual); a variabilidade dessas vazões; a permanência das vazões de interesse do presente estudo, a frequência de ocorrência; a constante de recessão da vazão do rio utilizada para o entendimento do esvaziamento dos aquíferos, o índice de meia vida para previsão de vazão na estiagem e a contribuição da vazão subterrânea no total da vazão do rio. Essas características constituem o componente temporal de vazão mínima.

O estudo teve como objetivo determinar os indicadores e índices de vazão, que permitiram a transferência de informações da seção de referência do posto fluviométrico para outro local dentro da bacia, com comportamento hidrológico semelhante, obtendo-se uma estimativa de vazões mínimas, em locais sem ou com poucos dados, por uma simples proporção de áreas. Um indicador é o valor de uma vazão de referência (vazão mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de tempo de retorno ou vazão mensal com 95% de garantia). Um índice é uma proporção entre vazões na forma adimensional, facilitando o seu uso.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consistiu em determinar a quantidade mínima disponível de água em postos das bacias do Rio Miranda e Aquidauana através da aplicação de índices e indicadores de vazão.

Os objetivos específicos foram:

- a) Analisar a qualidade dos dados fluviométricos, verificando sua consistência;
- b) Construir o cadastro anual dos postos Aquidauana e Miranda considerando-se o ano civil para todo período analisado, contendo os indicadores da vazão para cada ano, base para conhecer a variabilidade da vazão inter-decadal e a frequência de ocorrência, apresentando-o na forma adimensional por meio de um gráfico;
- c) Construir o cadastro mensal dos postos Aquidauana e Miranda para todo período analisado, sendo esta a base para conhecer sua variabilidade hidrológica sazonal (dentro do ano) e as permanências para todo o período e para cada mês;
- d) Analisar a frequência de ocorrência de vazão mínima para obtenção dos indicadores e índices de vazão;
- e) Analisar a permanência para obter os indicadores de vazão mínima com duração mensal para todo o período analisado, para cada mês do ano, e com duração diária para cada ano de interesse, juntamente com os índices;
- f) Analisar a depleção do escoamento subterrâneo, para obter a constante de recessão e o índice de meia vida, para a previsão de vazão na estiagem das bacias dos rios Aquidauana e Miranda;
- g) Realizar uma comparação na aplicação dos indicadores e índices de vazão pela forma tradicional e pela metodologia proposta em sub-bacias do Rio Miranda.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica teve como objetivo, descrever o conteúdo de artigos encontrados em revistas, livros e periódicos, relacionados com o presente estudo.

O aumento do consumo de água doce pela sociedade exige cada vez mais dos mananciais e o agravamento da poluição hídrica, requer a integração dos aspectos quantidade e qualidade das águas. Quanto à qualidade, ela é dependente da vazão dos rios e as condições críticas ocorrem durante as estiagens, quando as vazões nos rios são mínimas, diminuindo a capacidade de diluição. Por outro lado, a carga poluidora transportada pela drenagem pluvial pode, principalmente ao início da chuva, prejudicar a qualidade da água, ocasionando, por exemplo, séria depleção de oxigênio (IDE, 1984).

3.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos permitem conhecer a quantidade de água de um ecossistema e seu comportamento. O primeiro trabalho de vulto com o objetivo de conhecer o regime hidrológico para planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos da Bacia do Alto Paraguai, foi feito pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS, com o apoio da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura –UNESCO. Esses estudos foram realizados no período compreendido entre os anos de 1967 e 1974, porém, existem registros de níveis d'água do Rio Paraguai, na cidade de Ladário - MS, desde o ano de 1900. Desta época até os dias atuais, o regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Paraguai e de seus tributários, sofreu alterações decorrentes da interferência, não apenas da parte alta da bacia, onde se intensificaram as atividades agropecuárias, mas também, no interior da planície pantaneira, com a remoção de matas das partes mais altas, inclusive as ciliares, para a formação de pastagens (DNOS, 1974).

O mais longo período seco foi de outubro de 1961 a setembro de 1971, com precipitação média anual, em todos os anos, abaixo da média de longo período. Por causa da seca nesse período, as vazões mínimas diárias são realmente representativas das vazões nos mais baixos níveis. Os dados da Tabela 3.1 apresenta o índice que demonstra a importância da água do subsolo disponível de aquíferos (DNOS, 1974).

Tabela 3.1. Vazão mínima diária medidas no período de 1968/1971

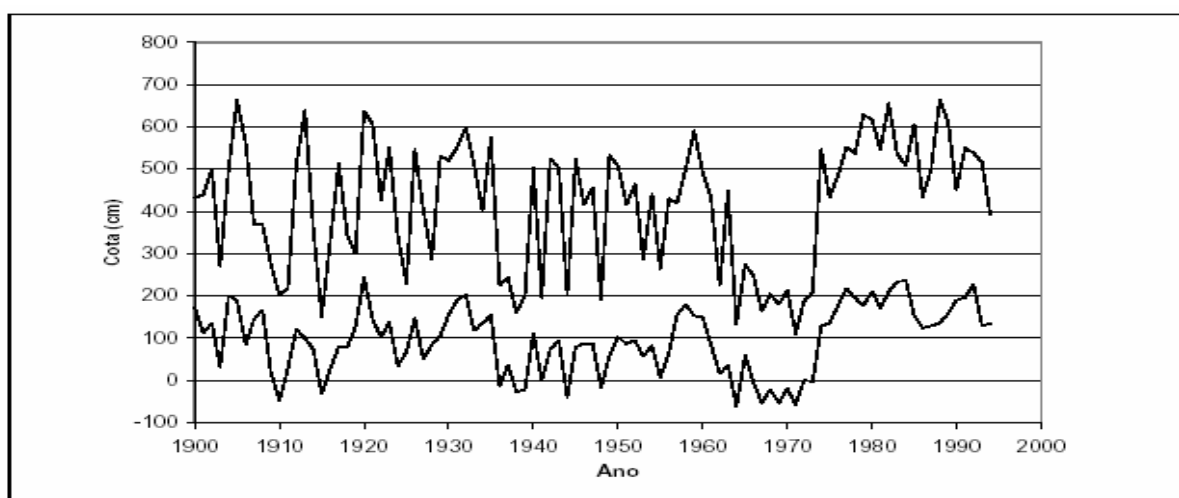
Posto fluviométrico	Vazão (m³/s)	Contribuição unitária (L/s.km²)	% da média anual
Rio Cabalai em Estrada MT-125	13,0	2,60	40,9
Rio Sepotuba em S. José do Sepotuba	99,2	11,40	70,0
Rio Paraguai em Barra do Bugres	11,9	1,16	26,9
Rio Paraguai em Cáceres	138,0	4,06	45,4
Rio Jauru em Porto Esperidião	49,4	10,00	82,5
Rio Jauru em Baía Grande	51,5	6,84	80,0
Rio Paraguai em Descalvado	172,0	35,60	49,0
Rio Paraguai em Porto Conceição	166,0	-	61,0
Rio Paraguai em Bela Vista do Norte	71,0	-	54,9
Rio Cuiabá em Acorizal	56,0	3,10	37,6
Rio Cuiabá em Cuiabá	48,0	2,20	30,0
Rio Cuiabá em Barão de Melgaço .	69,9	2,58	38,5
Rio Cuiabá em Retiro Biguaçu	76,0	.	40,2
Rio São Lourenço em Fátima	48,2	7,41	60,9
Rio Vermelho em Rondonópolis	33,0	2,72	38,3
Rio São Lourenço acima do C. Grande	67,4	3,09	40,9
Rio Itiquira em Estrada BR-163	22,3	4,37	59,6
Rio Correntes em Estrada BR-163	38,1	12,50	80,9
Rio Piquiri em Estrada BR-163	6,6	2,05	54,1
Rio Piquiri em São Jerônimo	72,8	2,68	69,2
Rio Cuiabá em Porto Alegre	230,0	-	55,1
Rio Paraguai em Amolar	413,0	-	65,5
Rio Paraguai em São Francisco	421,0	1,73	65,7
Rio Taquari perto de Pedro Gomes	62,5	6,70	74,9
Rio Taquari em Coxim	112,0	4,15	70,6
Rio Taquari em São Gonçalo	104,0	.	60,7
Rio Paraguai em Porto da Manga	548,0	1,73	68,7
Rio Negro em Rio Negro (Fazenda)	0,95		11,8
Rio Aquidauana em Palmeiras	16,6	1,48	36,7
Rio Aquidauana em Aquidauana	16,7	1,10	31,1
Rio Aquidauana em Porto Ciriaco	19,2	-	51,1
Rio Miranda em Estrada MT -738	14,3	1,21	40,5
Rio Miranda em Miranda	7,3	0,47	11,7
Rio Paraguai em Porto Esperança	568,0	1,56	55,9
Rio Paraguai em Forte Coimbra	606,0		56,4

Fonte: DNOS, 1974.

A maior parte da rede fluviométrica atual é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas – ANA, tendo sido recebida da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL que a operou até junho de 2002.

A operação dos postos com régua é realizada diariamente, com leituras às 7h e 17h, enquanto que as visitas e medições de descarga são realizadas quatro vezes por ano. A finalidade da operação de um posto fluviométrico é obter o registro da vazão do curso d'água. As leituras de réguas ou cotas obtidas têm valor como a primeira etapa para o cálculo da vazão do rio. O segundo é a calibragem da estação através da “curva chave”, que estabelece a relação entre as vazões e cotas correspondentes. É essencial a lista de todas as medições de vazões, dispostas cronologicamente, com suas respectivas cotas (CARVALHO; CUNHA & CUNHA, 2002).

O regime hidrológico do Pantanal caracteriza-se pela sazonalidade dos níveis dos rios (variações intra-anuais) e pelos ciclos de cheia e de seca (variações inter-anuais). O maior ciclo de seca registrado no Pantanal foi de dez anos consecutivos, entre 1964 e 1973. Nesse ciclo de seca, o nível mínimo foi de 61 cm abaixo do zero da régua de Ladário, ocorrido em 1964. As cheias pequenas de 1998, 1999 e 2000, quando o nível máximo, não passou de 4,66 m, e principalmente a seca ocorrida em 2001, quando o pico de cheia foi de apenas 3,15 m e o nível mínimo de 90 cm, criaram a expectativa de que a partir de 2001 seria interrompido o atual ciclo de cheia no Pantanal. Entretanto, uma vez que em 2002 a régua de medição do nível do Rio Paraguai em Ladário-MS, superou a marca de 4 m, esse ano caracterizou-se como sendo de cheia no Pantanal (5,16 m em junho de 2003). A ocorrência consecutiva de dois anos de seca no Pantanal, determina o início de um ciclo de seca. A seqüência de anos com cotas baixas durante a década de 1960, destaca-se claramente na série (Figura 3.1), assim como o retorno das cotas altas no período posterior (GALDINO, VIEIRA, OLIVEIRA, et al 2002).



Fonte: GALDINO, VIEIRA, OLIVEIRA, et al 2002.

Figura 3.1. Série temporal das cotas mínimas e máximas anuais do Rio Paraguai.

Apesar de configurarem uma série longa e completa, os dados de cota de Ladário fornecem uma informação limitada sobre o regime hidrológico da bacia do Rio Paraguai, devido à ausência de uma relação de vazões efetivamente medidas, que impossibilita o estabelecimento da relação cota x vazão ao longo do período. No banco de dados do posto Ladário, existem vazões medidas, somente, no período de 1964 a 1974.

A variabilidade climática pode produzir impactos importantes no desenvolvimento dos países e comprometer a sustentabilidade das populações. A história tem mostrado que o clima é um condicionante fundamental no desenvolvimento da população em diferentes partes do globo DIAMOND (1997) *apud* TUCCI (2002b).

A ELETROBRÁS (1983) realizou um estudo metodológico para regionalização de vazões, com o intuito de suprir a necessidade do estabelecimento de procedimentos para regionalização de vazão em áreas com carência de dados hidrológicos. O trabalho foi elaborado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS e foi dividido em três volumes: 1) Guia metodológico para regionalização de vazões, cuja finalidade foi a de orientar os hidrólogos na confecção de estudos regionais; 2) Regionalização de vazões do Alto Paraguai, onde são exemplificados os procedimentos descritos no Guia metodológico e estabelecida a regionalização para a região do Alto Paraguai e; 3) Manual para determinação de vazões na Região do Alto Paraguai, onde são descritos os passos para se determinar a vazão média de longo período, a vazão mínima de determinada duração (dias, mês, etc), entre outros, para qualquer sub-bacia localizada na região do Alto Paraguai. As recomendações são para que o estudo seja atualizado após alguns anos, quando as séries dos postos utilizados forem mais longas. O trabalho ressalta a importância do conhecimento de vazões para a gestão das águas.

NOBRE e NOBRE (2001), realizaram um estudo sobre a caracterização hidrogeológica para o uso racional e proteção dos mananciais subterrâneos em Maceió-AL, cujo objetivo foi a caracterização do comportamento do sistema de aquíferos da região, através de um tratamento numérico do fluxo de suas águas subterrâneas. A avaliação integrada de mananciais subterrâneos e bacias hidrográficas constitui a forma mais adequada na gestão de recursos hídricos de uma região. É de conhecimento, que os reservatórios de águas subterrâneas se encontram, na maioria dos casos, conectados hidraulicamente aos rios, desta forma, a avaliação de vazões em períodos de estiagem, caracteriza-se pela alimentação das águas subterrâneas e o regime fluviométrico do rio, está diretamente ligado à recarga do

escoamento de base. Os estudos confirmaram a necessidade da utilização de ferramentas objetivas para a gestão adequada dos recursos hídricos subterrâneos de uma região.

VORST e BELL (1981) *apud* SILVA JÚNIOR, BUENO, TUCCI *et al* (2003), verificaram várias relações na regionalização do escoamento médio e do volume superficial. Os autores identificaram apenas três variáveis físicas significativas para explicar as vazões. Essas variáveis são a área da bacia para a previsão do volume superficial escoado; o comprimento do curso d'água principal e a declividade para a obtenção de hidrogramas. Observou-se que a correlação entre comprimento do curso d'água e área é geralmente alta e, da mesma forma, a declividade também possui alta correlação com o comprimento e com a área de drenagem. Assim, a área é efetivamente a única característica da bacia que tem sido considerada para relacionar as variáveis hidrológicas. No entanto, SILVA JÚNIOR, BUENO, TUCCI *et al* (2003), esclarecem que isto somente é verdade quando as outras variáveis que caracterizam a vazão não apresentam grande variabilidade espacial na região em estudo.

3.2. ASPECTOS LEGAIS

A preocupação com a manutenção de vazões mínimas em rios não é recente. No Brasil, o Código das Águas de 1934 já estabelecia que os aproveitamentos energéticos deveriam resguardar a conservação e livre circulação de peixes. Na Inglaterra, a Lei de Recursos Hídricos de 1963 já requeria que cada Superintendência Hídrica, estabelecesse a “vazão mínima aceitável” para rios, considerando as necessidades dos organismos aquáticos LESTER (1967) *apud* LANNA (2000).

Em 1981, foi promulgada a Lei nº 6.938, que criou o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA e instituiu novos instrumentos de defesa ambiental. Nesta política, destacam-se como metas a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico e o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental, deixando em segundo plano a questão quantitativa dos recursos hídricos (SETTI, LIMA, CHAVES *et al*, 2001).

A água é um dos elementos do meio ambiente. Isto faz com que se aplique à água o enunciado do artigo 225 da Constituição Federal de 1988: “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, estabelecendo assim, que as águas são públicas. Em função do manancial, elas são consideradas bens de domínio da União ou dos

Estados (Artigo 20 e 26). A Constituição delega atribuição aos Estados para legislar concorrentemente com a União (artigo 24 parágrafo VI), de acordo com suas peculiaridades. No artigo 21 parágrafo XIX, estabeleceu como competência da União: instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direito de seu uso (BRASIL, 1988).

Regulamentando o parágrafo XIX, a Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A lei estabelece 5 instrumentos de gestão: 1) os planos de recursos hídricos 2) a outorga de direito de uso; 3) a cobrança pelo uso; 4) o enquadramento dos corpos de água em classes de uso; e 5) o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, concebido como uma rede de diversos bancos de dados e informações, para acesso aos usuários, cuja alimentação está a cargo de entidades públicas, federais, estaduais e municipais, relacionadas à gestão dos recursos hídricos, sendo coordenado de forma unificada. Entre seus objetivos destacam-se: a divulgação de dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil e o fornecimento de subsídios para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos (ABRH, 1997).

A Instrução Normativa nº 004, de 21 de junho de 2000 do Ministério do Meio Ambiente, que aprovou os procedimentos de outorga de direitos de uso de água em corpos sob o domínio da União, definiu vazão ecológica como "a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos". Portanto, nota-se nessa conceituação o viés de manutenção de uma vazão mínima e não de um regime de flutuação ou pulso hidrológico. (LANNA; BENETTI, 2000).

3.3. DEFINIÇÕES

A hidrologia é uma ciência que se baseia na observação dos processos envolvidos no meio físico natural. No passado, a ocupação do homem na bacia foi realizada com pouco planejamento, sem maior preocupação com a preservação do meio ambiente. A tendência atual envolve o desenvolvimento sustentado da bacia hidrográfica através do aproveitamento racional dos recursos hídricos, com o mínimo dano ao ambiente (TUCCI, 1997). Para isso, será necessário dispor ao longo do tempo e no espaço geográfico da bacia, de informações relativas à quantidade de água efetivamente disponível, que se pode retirar de um manancial, já descontada a vazão ambiental, necessária à preservação do ambiente ao longo do tempo, que é a definição de disponibilidade hídrica.

A área de afluição aos rios é denominada *bacia hidrográfica*. Os rios, segundo os seus regimes de escoamento, podem ser classificados em perenes, intermitentes e efêmeros. Os perenes são aqueles que apresentam escoamento durante o ano todo, todos os anos; os intermitentes são os que escoam durante uma parte do ano em que ocorrem as chuvas; os efêmeros são aqueles de pequeno porte nos quais o escoamento só acontece imediatamente após as chuvas (MATTOS, 1983).

A estiagem é definida por MATTOS (1983) como seca hidrológica: “período em que ocorrem vazões anormalmente baixas em um rio perene, tendo como características sua duração e a magnitude. A magnitude é o valor esperado”. Segundo o glossário de termos técnicos (BRASIL, 2003a), a vazão de estiagem é a vazão de um curso d'água num período de seca prolongada. Esta, por sua vez, é um evento natural resultante das precipitações abaixo do normal em um longo intervalo de tempo (WMO, 2003).

As normas estabelecidas pelo Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, conceituam disponibilidade hídrica como “a diferença entre o volume aleatório e soma das seguintes parcelas: a) volume outorgável; b) quantidade mínima de água para a manutenção do ambiente; c) usos insignificantes e d) manutenção das características de navegabilidade, quando for o caso”. Entende-se por volume aleatório o volume disponível em um corpo hídrico ao longo de um mês (SETTI, LIMA, CHAVES *et al*, 2001).

LANNA e BENETTI (2000), relatam que o balanço adequado entre a utilização da água e a manutenção de suas estruturas naturais permite o uso continuado da água no presente e no futuro e que para possibilitar a continuidade das funções oferecidas pela água, é necessária a manutenção de uma *vazão mínima* que suporte o ecossistema aquático. A vazão mínima é muitas vezes referida como a vazão residual, *ambiental* ou ecológica. Na literatura inglesa, vazões mínimas são denominadas *instream flows minimum requirements* ou simplesmente *low flow*.

A previsão de longo prazo num determinado lugar é estatística, ou seja, é determinada a probabilidade de que ocorra um nível ou vazão com base em dados históricos, registrados anteriormente naquele local. Utilizando-se os dados históricos de vazões num determinado local, é estimada a probabilidade de que uma determinada vazão seja igualada ou superada num ano qualquer. O tempo de retorno é o inverso dessa probabilidade. A previsão e o alerta para um determinado local, somente são realizados quando os níveis do rio atingem valores próximos dos críticos. Num período de estiagem, toda a água disponível já se encontra

dentro da bacia e a previsão depende de metodologia determinista, que envolve principalmente o escoamento subterrâneo (TUCCI, 2002b).

A variabilidade temporal *sazonal* (dentro do ano) define o ciclo de ocorrência dos períodos úmidos e secos com o qual a população e os usuários da água procuram conviver. Dentro deste âmbito está o ciclo de culturas agrícolas, alteração da paisagem e vegetação pela disponibilidade de umidade, entre outros. Geralmente o controle deste processo envolve volume pequenos, quando apenas a sazonalidade está em jogo. A variabilidade interanual de curto prazo (poucos anos 2-3 anos) pode ser a condição crítica de vários sistemas hídricos, sujeitos à disponibilidade hídrica, como o semi-árido brasileiro. Geralmente este tipo de período ainda está dentro da capacidade de percepção da população (TUCCI, 2002b).

A variabilidade decadal (dezenas de anos) atua fortemente sob as condições climáticas do globo, assim como em outros períodos mais longos. A importância deste cenário está relacionada com a capacidade que os sistemas hídricos têm para se alterar em função destas variabilidades e, em consequência, como a sociedade e seu desenvolvimento podem suportar estas variações. A falta de água gera fortes restrições para o abastecimento, agricultura, produção de energia, entre outros (TUCCI, 2002b).

3.4. OUTORGA

A outorga tem como função, ratear a água disponível entre as demandas existentes, de forma a gerar os melhores resultados para a sociedade. A outorga garante ao usuário o direito de uso da água. Cabe ao poder outorgante (Governo Federal, Estados ou Distrito Federal) examinar cada pedido, verificando se existe água suficiente, para que o pedido possa ser atendido. Isto determina o estabelecimento da gestão conjunta da disponibilidade e das demandas hídricas. No aspecto prático, a situação que ocorre é a seguinte: a rede fluvial é dividida pelas seções de referência, definidas em função da possibilidade de avaliação da disponibilidade hídrica, através de vazões características (LANNA, 1999).

Duas classes podem enquadrar os critérios alternativos de outorga do uso da água, apresentados na literatura: o da vazão referencial e o da priorização das demandas. Na primeira, uma vazão referencial do curso de água é utilizada. Na segunda têm em comum que as demandas podem ser outorgadas, além de qualquer vazão referencial. Neste caso, diversas possibilidades existem, dependendo dos níveis de garantia estabelecidos. Os critérios de outorga de direitos de uso da água no Brasil, têm sido estabelecidos com base em um

percentual de vazões referenciais, que corresponde a uma situação crítica de estiagem. Estas vazões referenciais podem ser: a $7Q_{10}$ (vazão mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos), a Q_{90} ou Q_{95} (vazão média com 90% ou 95% do tempo da curva de permanência de vazões diárias ou mensais) (LANNA, 1999).

Como a outorga é dirigida às condições de estiagem, ela limita a expansão dos sistemas de uso da água e ainda, na maior parte do tempo, cria a impressão de desperdício de água, pois o uso é limitado a um percentual da vazão referencial de estiagem, mesmo em época de cheia. A Tabela 3.2 mostra os critérios de outorga de direitos de uso de água em alguns Estados brasileiros e o percentual da vazão ecológica estabelecido (BENETTI, LANNA e COBALCHINI, 2003).

Tabela 3.2. Critérios de outorga de direitos de uso de água em alguns Estados brasileiros.

UF	VAZÃO REFERENCIAL	CRITÉRIOS DE OUTORGA*	VAZÃO ECOLÓGICA INDIRETAMENTE ESTABELECIDO
PR	$7Q_{10}$	50% da vazão referencial	50% da $7Q_{10}$
MG	$7Q_{10}$	30% da vazão referencial em cursos de água usuais. Quando o interessado promover regularização, o limite poderá ser superior, desde que seja mantida uma vazão residual de 70% da vazão referencial.	70% da $7Q_{10}$
PE e BA	Q_{90} diário	80% da vazão referencial quando não houver barramento, ou quando houver barramento em cursos de água perenes.	20% da Q_{90}
		95% da vazão referencial quando houver barramento em cursos de água intermitentes.	5% da Q_{90}
PB, RN e CE	Vazão regularizada com 90% de garantia	90% da vazão referencial	10% da Q_{90}

Fonte: LANNA (2000)

*Limite de autorizações de retirada de água acumuladas até a seção fluvial.

SILVEIRA, ROBAINA e GIOTTO (1998) desenvolveram um estudo com a finalidade de instruir um processo de outorga, quando existem poucos dados fluviométricos. O objetivo foi estabelecer o cotejo disponibilidade x demanda, a partir de estudos hidrológicos que maximizem as informações hidrometeorológicas disponíveis e do levantamento de usuários atuais dos recursos hídricos, em captações ou despejo de efluentes. Os autores afirmam que as condições básicas para o desenvolvimento da gestão de oferta da

água, dependem do perfeito conhecimento das disponibilidades hídricas e das demandas hídricas. A equação $Q_d = Q_n - Q_u$, onde Q_d é a disponibilidade hídrica; Q_n é a vazão natural aleatória; Q_u é a vazão correspondente aos usos consuntivos ou não, incluindo o de preservação ambiental. A vazão natural define a produção hídrica da bacia em sua situação primitiva; a vazão atual é definida pela produção hídrica da bacia em relação às suas condições atuais e a vazão remanescente é definida pela vazão atual diminuída de seus diversos usos. Na prática, esta vazão caracteriza a vazão real da bacia, a ser tomada como a sua disponibilidade hídrica atual. Por este equacionamento, a seção hidrológica deve reproduzir o cenário de disponibilidade hídrica fluvial de modo a considerar a variabilidade sazonal de oferta de água. A aplicação foi realizada na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria (15.000 km²), no posto fluviométrico de Rosário do Sul. Alguns dos resultados apresentados, convertidos para sua forma específica, foram: a máxima 259,5 L/s.km², a média de 11,76 L/s.km² e a mínima de 0,067 L/s.km². Concluiu-se que a adequada implementação do processo de gerenciamento de recursos hídricos, depende de investimentos na coleta de dados das informações hidrológicas e no conhecimento dos usuários da água.

O desejável é que cada seção de referência se constitua de um posto fluviométrico. Entretanto, considerando-se a realidade da densidade da rede hidrometeorológica nacional, tem-se que as tabelas de vazões das seções de referência são produtos de interpolação de vazões dos poucos postos fluviométricos existentes. As seções de referência devem ser definidas no limite de interpolação possível por modelos matemáticos, até serem suficientemente próximos da seção do usuário, de modo que a interpolação possa ser feita por uma proporção de área de bacias (SILVEIRA, ROBAINA e GIOTTO, 1998).

3.5. ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

TUCCI (2002a) afirma que para maior conhecimento das características das vazões de estiagem, é necessária a determinação das curvas de duração ou permanência, de recessão ou depleção do escoamento básico e, principalmente, da distribuição temporal das vazões mínimas anuais (frequência). Entretanto, para que estas curvas sejam representativas, são necessárias longas séries de dados. Isto ocorre, devido à possível correlação positiva entre valores anuais de vazões mínimas. A explicação é que, a distribuição de mínimos depende dos diferentes reservatórios subterrâneos, caracterizados por camadas de solo e rocha. Um período longo de altas precipitações, eleva o nível do lençol freático, permitindo regularizar as vazões

baixas, ocorrendo no sentido contrário quando se sucedem anos secos. Como o escoamento subterrâneo é lento, pode existir uma dependência de ano para ano.

3.5.1. Frequência

O risco de ocorrência de vazões extremas é analisado através das curvas de frequência. No caso das mínimas, a duração ou permanência da situação de estiagem supera em importância o valor instantâneo mínimo de estiagem. Neste caso, o estudo é realizado considerando os valores de vazão ocorridos ao longo de um período t , dito duração ou permanência da condição de estiagem. A análise de frequência de vazões mínimas é estabelecida para os menores valores médios de um período de t dias. Os procedimentos para ajustar uma distribuição de frequência à amostra de vazão, com uma dada duração, podem ser empíricos ou por distribuição teórica (ELETROBRÁS, 1983).

O método empírico é baseado no ajuste gráfico de uma curva aos pontos marcados segundo uma *fórmula de posição de locação*. Para obter a vazão desejada, para um determinado tempo de retorno, basta entrar no gráfico da curva de duração de t dias com o valor de T (tempo de retorno). Várias são as distribuições teóricas utilizadas para descrever a frequência de vazões mínimas. Detalhes sobre a distribuição de probabilidade usada para eventos extremos em hidrologia são apresentados por CLARKE (1973) e KITE (1977) *apud* ELETROBRÁS (1983).

Para a análise de frequência, as recomendações de TUCCI (2002a), baseiam-se no seguinte:

a) Os valores amostrais de vazão devem ser independentes; Em termos gerais, dois eventos são considerados independentes quando a ocorrência de qualquer deles não afetar a ocorrência do outro. Para vazões mínimas propõe-se que sejam escolhidos os valores entre períodos chuvosos. Para a região Centro-Oeste é utilizado o ano civil ao invés do ano hidrológico, que começa com o início das chuvas em outubro.

b) O processo natural de ocorrência das vazões é estacionário; Uma série de vazões é estacionária quando não ocorrem modificações nas características estatísticas da sua população ao longo do tempo. As causas para uma série não ser estacionária podem estar relacionadas com as modificações da bacia hidrográfica.

c) A amostra é representativa da população. A confiabilidade dos parâmetros estatísticos calculados com base na série histórica depende do número de valores da série e sua representatividade. A diferença entre os parâmetros estatísticos da amostra e os da população é definida como incerteza por YEVJEVICH (1972) *apud* TUCCI (2002a).

O período de recorrência ou tempo de retorno de uma vazão de mínima é o tempo médio em anos em que essa vazão é igualada ou superada pelo menos uma vez (MATTOS, 1983).

3.5.2. Permanência

A curva de permanência, definida por VOGEL e FENNESSEY (1994) *apud* SILVEIRA, TUCCI e SILVEIRA (1998), representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais (ou de qualquer outra duração) de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a porcentagem de tempo que uma dada vazão é igualada ou superada num período histórico.

3.5.3. Depleção

O balanço hídrico consiste na análise quantitativa do ciclo hidrológico, dentro de uma determinada área. A variação do volume de água dentro dos limites estabelecidos é igual à diferença entre toda a água que entra no sistema e toda a água que sai do mesmo. Portanto, o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica pode ser descrito pela seguinte equação (TUCCI, 1998):

$$\frac{dS}{dt} = P - ETr - (Qb + Qs) \quad (3.1)$$

onde dS/dt , é a variação total da quantidade de água armazenada no reservatório por unidade de tempo; P é quantidade de água precipitada por unidade de tempo; ETr é quantidade de água evapotranspirada por unidade de tempo; Qs é quantidade de água escoada superficialmente por unidade de tempo e Qb é quantidade de água subterrânea escoada por unidade de tempo.

A UNESCO (1972) *apud* SETTI, LIMA, CHAVES *et al* (2001) cita o balanço hídrico superficial e utiliza a equação da continuidade, referindo-se principalmente a lagos, reservatórios e trechos de rios. Os modelos matemáticos representam os principais fenômenos envolvidos e procuram estimar, no tempo e no espaço, esses componentes através de diferentes equações de continuidade integradas. A representação matemática dos processos,

evoluiu dentro de dois aspectos principais: o determinístico para fenômenos físicos, podendo ser descritos por equações diferenciais que retratam o comportamento do processo ocorrido na natureza e o estocástico onde estão envolvidos os aspectos probabilísticos das variáveis.

RONDON (1998) baseia-se na equação desenvolvida por Boussinesq para afirmar que, na ausência da influência da precipitação, a vazão em determinada secção transversal de um curso d'água é proporcional ao volume d'água armazenado no subsolo da bacia hidrográfica, à montante da secção considerada, representada pela equação da curva de recessão do escoamento subterrâneo (depleção) (3.2):

$$Q_b = Q_0 \cdot e^{-\left(\frac{1}{K_b}\right) \cdot t} \quad (3.2)$$

onde Q_b , Q_0 , K_b e t são, respectivamente, vazão de escoamento subterrâneo ou vazão de base, vazão inicial, tempo médio de esvaziamento do reservatório subterrâneo e tempo

A curva de depleção retrata o esvaziamento do aquífero. Partindo-se da afirmação acima, o estudo da depleção da bacia baseou-se na aplicação do princípio de conservação de massa, também conhecido como equação da continuidade. Esta estabelece que, para qualquer volume arbitrário e durante qualquer intervalo de tempo, a diferença entre as entradas e saídas de um sistema estará vinculada à variação do volume de água armazenado.

Na região da sub-bacia do Rio Aquidauana e Miranda, a estação seca é caracterizada pela inexistência quase que total de precipitações, se estendendo em alguns anos até novembro. Resolvendo a equação do balanço hídrico 3.1, com as considerações acima e considerando que a evapotranspiração no período de um dia é desprezível, temos:

$$\frac{dS}{dt} = -Q_b \quad (3.3)$$

onde S é o armazenamento e Q_b , a vazão de escoamento subterrâneo ou vazão de base.

CHOW (1959) *apud* TUCCI (1997), classificou os modelos de escoamento em hidrológicos e hidráulicos. Os modelos hidrológicos consideram somente o efeito do armazenamento no escoamento, desprezando a formulação dos efeitos da equação de quantidade de movimento, sendo denominados, atualmente, do tipo armazenamento. Os

modelos do tipo armazenamento utilizam a equação da continuidade concentrada e uma relação entre o armazenamento e a vazão de saída e entrada do trecho, para simular o escoamento no rio.

Os modelos do tipo armazenamento se diferenciam pela expressão usada na equação que relaciona o armazenamento com as vazões de entrada e saída. A diferença acumulada de volume que entra e sai do trecho é o armazenamento do período. Este tipo de modelo pode ser usado quando o efeito preponderante é o amortecimento, devido ao armazenamento e não existam efeitos de jusante sobre o escoamento.

O armazenamento e a vazão de saída são relacionados pela expressão:

$$S = K_b \cdot Q_b \quad (3.4)$$

onde S é o armazenamento, Q_b a vazão de escoamento subterrâneo ou vazão de base e K_b representa o tempo médio de esvaziamento do reservatório subterrâneo.

Derivando-se a Equação 3.4 e substituindo-se na equação 3.3 resulta a equação diferencial do modelo do reservatório linear simples.

$$K_b \frac{dQ_b}{dt} = -Q_b \quad (3.5)$$

Sendo a equação diferencial acima linear e separável, sua solução é:

$$Q_b = Q_0 \cdot e^{-\left(\frac{1}{K_b}\right) \cdot t} \quad (3.6)$$

Esta equação representa o escoamento subterrâneo utilizada no trabalho.

3.6. INDICADORES DE VAZÃO

3.6.1: Vazão máxima

TUCCI (2002a) afirma que a vazão máxima é entendida como a maior vazão que ocorre na seção de um rio num período definido e representa as condições de inundação local.

3.6.2. Vazão média

A vazão média determina o potencial hídrico de uma bacia hidrográfica, porque é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades (TUCCI, 2002a).

Segundo TUCCI (2002a), a vazão média pode ser interpretada de acordo com os valores utilizados no seu cálculo, podendo ser expressa em m^3/s ou em mm/ano , para relacioná-la nas mesmas unidades que a precipitação. Os dados são apresentados na forma de valores médios mensais, que são a média de um mês específico dentro de um determinado ano; anuais, que são o valor médio de um determinado ano e; de longo período, que compreende o valor médio de toda a série. A variabilidade dos meses ao longo do ano é um indicador da sazonalidade da bacia hidrográfica. A determinação da vazão específica em locais com dados, serve para calcular a vazão nos locais sem dados e estudos comparativos.

3.6.3. Vazão mínima

A vazão mínima de um rio é considerada por muitos como a vazão que ocorre durante a estação seca do ano. O glossário internacional de hidrologia define vazão mínima, como a vazão de água de um rio durante prolongado tempo de seca. A seca hidrológica caracteriza-se pelo decréscimo na vazão de um rio e pode ocorrer ao longo de um ano ou por vários anos consecutivos. As vazões mínimas são derivadas da descarga subterrânea e geralmente ocorrem na mesma estação a cada ano. Os indicadores com valores de vazões mínimas mais utilizados em projetos de recursos hídricos são a ${}_7Q_{10}$ (Vazão mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos), a Q_{95} (Vazão com 95% do tempo da curva de permanência) e Q_{95}/Q_{lp} , índice da contribuição subterrânea no total da vazão do rio (TUCCI, 2002a).

Os trabalhos encontrados na literatura internacional convergiram para a descrição dos métodos existentes de análise de vazões provenientes das séries históricas, para a obtenção da variabilidade hidrológica, máximas e mínimas extremas de diversas durações, a média das mínimas anuais de sete dias consecutivos (MAM7) considerado indicador de estiagem na Inglaterra, e, os provenientes da análise de duração Q_{95} , a Q_{90} (Vazão com 90% do tempo da curva de permanência mensal) e a mediana ou Q_{50} (Vazão com 50% do tempo da curva de permanência mensal), da frequência de ocorrência ${}_7Q_{10}$, o tempo médio de esvaziamento do reservatório de escoamento subterrâneo (K_b) e o índice de meia vida (HFP)

introduzido por MARTIN (1973) e a contribuição subterrânea no total da vazão do rio (Q_{90}/Q_{50}) *apud* SMAKHTIN (2001).

A vazão mínima está relacionada com uma duração, já que o uso da água não é um processo instantâneo. Neste trabalho foram consideradas as vazões mínimas para cada ano da série, como a mínima diária, a mínima de 7 dias e a mínima mensal.

Os critérios adotados pelo *Institute of Hydrology* (1980) *apud* TUCCI (2002a), para o estudo de vazões mínimas são:

a) Precisão das medições: a utilização de qualquer dado hidrológico requer uma análise prévia de consistência. Os valores de vazão observados são obtidos através da curva chave ou tabela cota vazão, a partir da leitura das cotas.

b) Efeito da modificação na bacia: modificações na bacia podem alterar significativamente a magnitude e distribuição das vazões. Os registros devem ser homogêneos e para utilizá-los é necessário examinar a influência das alterações artificiais.

c) Período de registro: normalmente, para análise de períodos secos, são necessários muito mais anos que para a análise de cheias. Na realidade, o tamanho e a representatividade da série de vazões podem ser as restrições básicas.

3.7. REGIONALIZAÇÃO

A regionalização de vazões é um procedimento que tem sido utilizado para permitir a obtenção da estimativa de funções hidrológicas, tais como curva de probabilidade de vazões mínimas e curva de permanência. Estas funções são fundamentais para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos, avaliação da rede hidrométrica e para diferentes estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1997). Na literatura podem ser encontrados vários estudos quanto à regionalização de vazões em diferentes locais do mundo NERC (1975) *apud* TUCCI (1997) e no Brasil, ELETROBRÁS (1983).

Segundo TUCCI (2002a), a regionalização de vazões não deve ser vista como uma solução para a extrapolação de escalas, mas como um auxiliar para entendimento do comportamento, melhoria dos dados e interpolação de resultados em regiões hidrológicas de comportamento similar. O uso deste tipo de técnica, de forma indiscriminada, pode gerar conflitos e prejuízos aos usuários da água.

Na década de 60 o *Geological Survey*, RIGGS (1973) *apud* TUCCI (2002a) desenvolveu um estudo de estimativa de escoamento mínimo a partir de características

climato-fisiográficas nos Estados Unidos e encontrou erros padrões de estimativa superiores a 100% na maioria das bacias analisadas. Sugeriu que sejam realizadas algumas medições na seção sem dados em um período de vazões mínimas. As vazões medidas são relacionadas às frequências das vazões observadas simultaneamente em postos vizinhos que tenham curva de frequência definida. Os pontos da curva de frequência conhecida são transferidos para a seção desejada através da relação obtida.

LANNA (1983) *apud* ELETROBRÁS (1983) estabeleceu curvas adimensionais de frequência para três regiões da bacia do Rio Jacuí. O fator de adimensionalização é a média das vazões mínimas com duração t . Esta variável foi correlacionada através de regressão múltipla linear com a área da bacia, a densidade de drenagem e a duração. Estas relações permitem a determinação da vazão mínima com uma determinada duração, para uma bacia sem dados. A metodologia citada foi utilizada na bacia do Alto Paraguai com sucesso.

4. METODOLOGIA

4.1. DEFINIÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

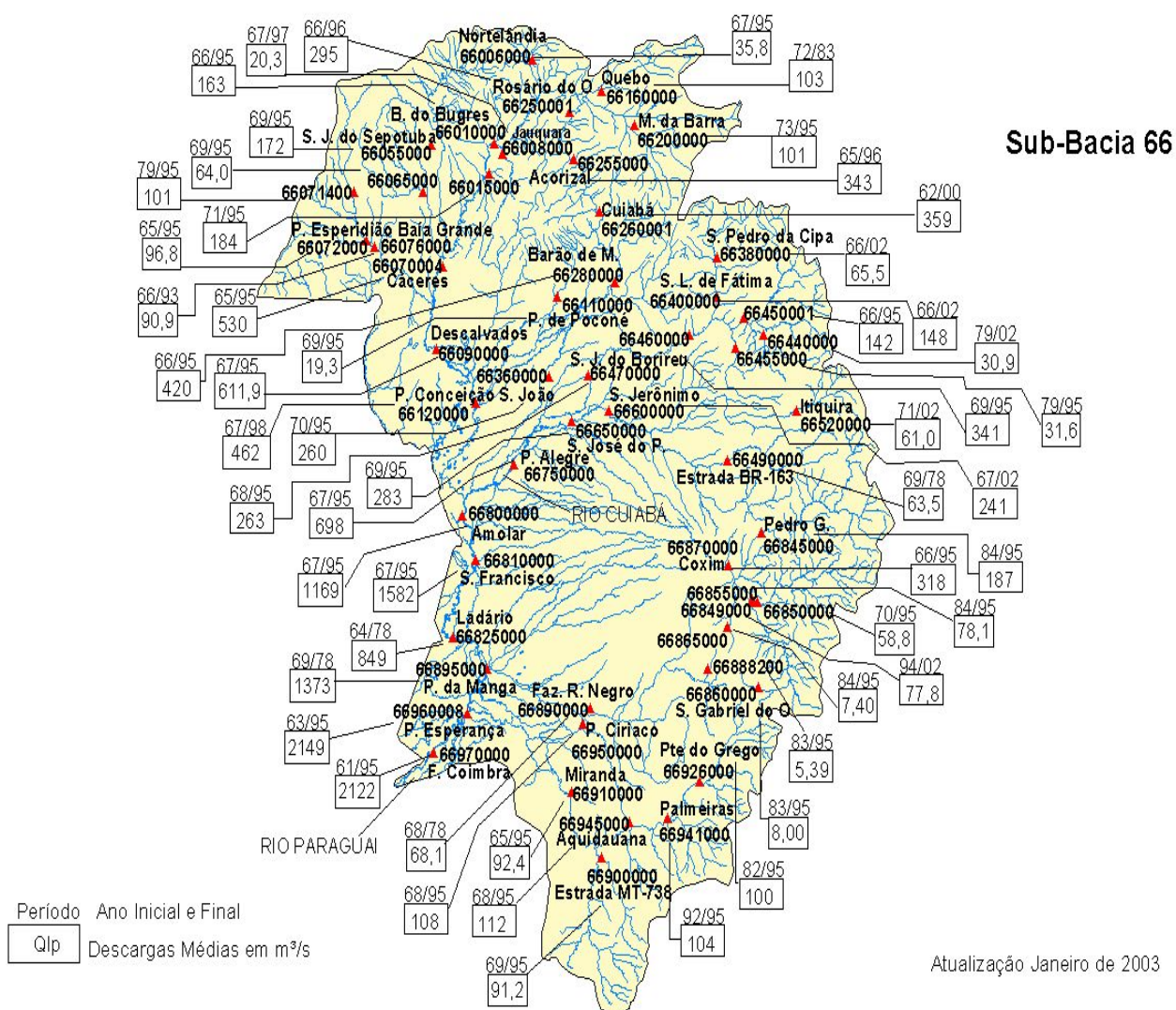
O Estado de Mato Grosso do Sul ocupa uma área de 358.148 km², correspondente a 18% da região Centro-Oeste e 4% em relação ao território nacional. O escoamento superficial se faz por uma extensa rede hidrográfica inserida em duas grandes bacias, a do Rio Paraná e a do Rio Paraguai. Possui no subsolo o Aquífero Guarani (em 60% do Estado), um dos maiores depósitos de água doce do mundo e ainda não apresenta uma política estadual para gestão de suas águas.

A bacia do Alto Paraguai ocupa uma área correspondente a metade do Estado e no planalto (terras acima de 200m de altitude) circundante, nascem os principais rios formadores da grande planície, que são terras abaixo de 200m de altitude, apresentando baixa capacidade de drenagem, sujeitas a grandes inundações. (BRASIL, 2003b). As áreas estudadas localizam-se na bacia hidrográfica do Rio Miranda, pertencente à Bacia do Alto Paraguai (BAP) (Figura 4.1), especificamente a sub-bacia superior do Rio Aquidauana nela inserida, com área de 15.200 quilômetros quadrados (km²) e a sub-bacia do Rio Miranda com área de 11.820 km², para comparação dos resultados (Figura 4.2). Em relação às águas subterrâneas, os principais sistemas aquíferos porosos da região estão localizados na porção Leste, região do Planalto. Na região do Alto Paraguai, principalmente nas sub-bacias dos rios Taquari e Miranda, encontra-se parte da área de recarga do sistema aquífero Guarani (Botucatu/Pirambóia), com aproximadamente 29.000 km². (BRASIL, 2003b). Pode-se afirmar que o Rio Aquidauana está na área de afloramento do aquífero Guarani (Figura 4.3).

A sub-bacia do Rio Miranda localiza-se na região Centro-Oeste do Estado, entre as seguintes coordenadas: latitude de 19°15'00'' e 22°00'00'' e longitude de 54°15'00'' e 57°30'00''. Sua área de drenagem é de 43.787 km² tendo como principais constituintes, o Rio Miranda e o Rio Aquidauana. O Rio Miranda nasce na Serra de Maracaju, com altitude de 700 metros, percorrendo 697 km da nascente até sua foz no Rio Paraguai, altitude de 80 m. A porção superior da Sub-Bacia do Rio Miranda apresenta junto à parte Sul da bacia do Rio Aquidauana, os menores riscos de erosão potencial da BAP (MS/SEMA/FEMAP, 2000).

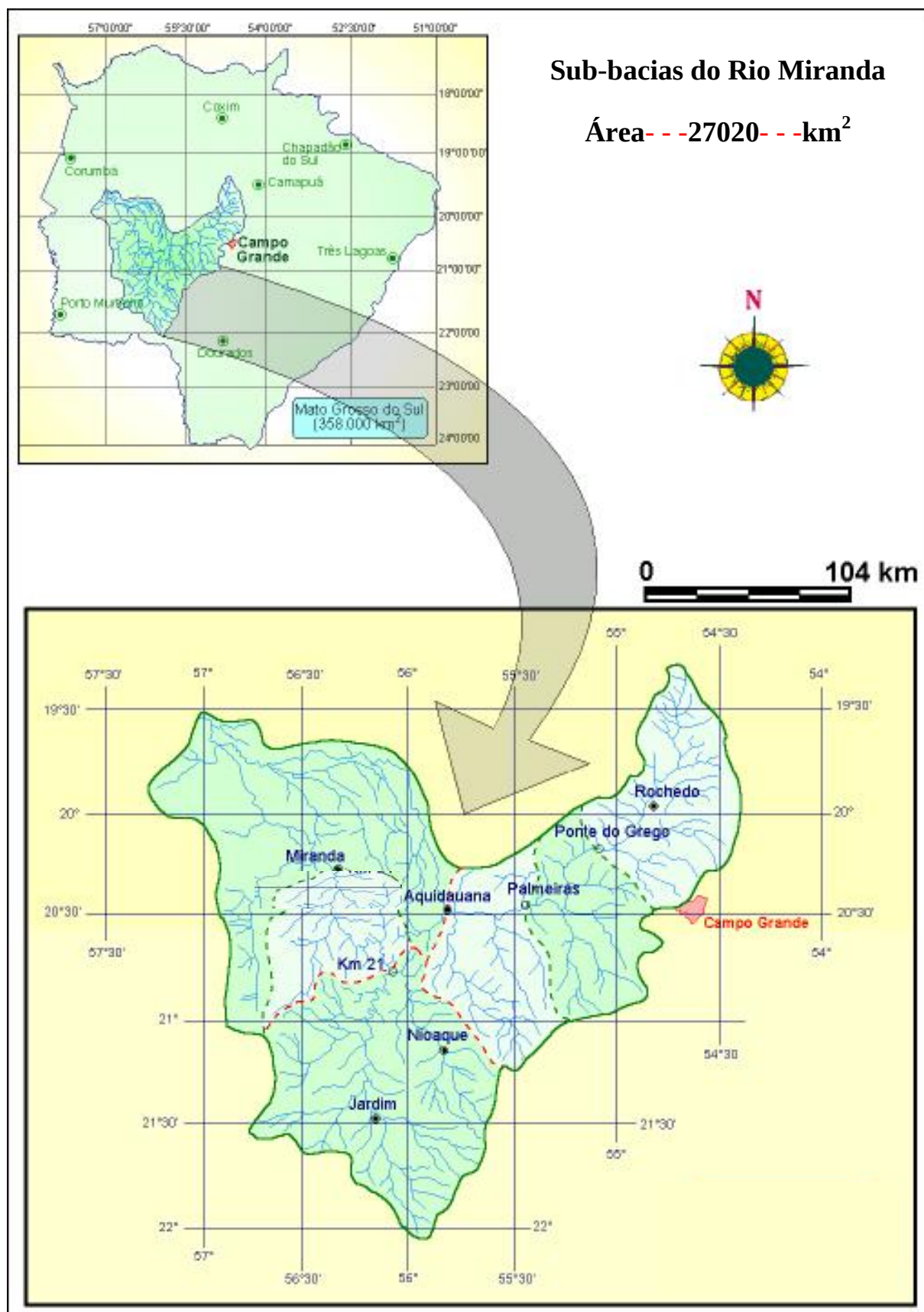
DESCARGAS MÉDIAS DE LONGO PERÍODO

Bacia do Paraguai - Rios Paraguai/Taquari/Miranda/Cuiabá



Fonte: BRASIL, 2003a.

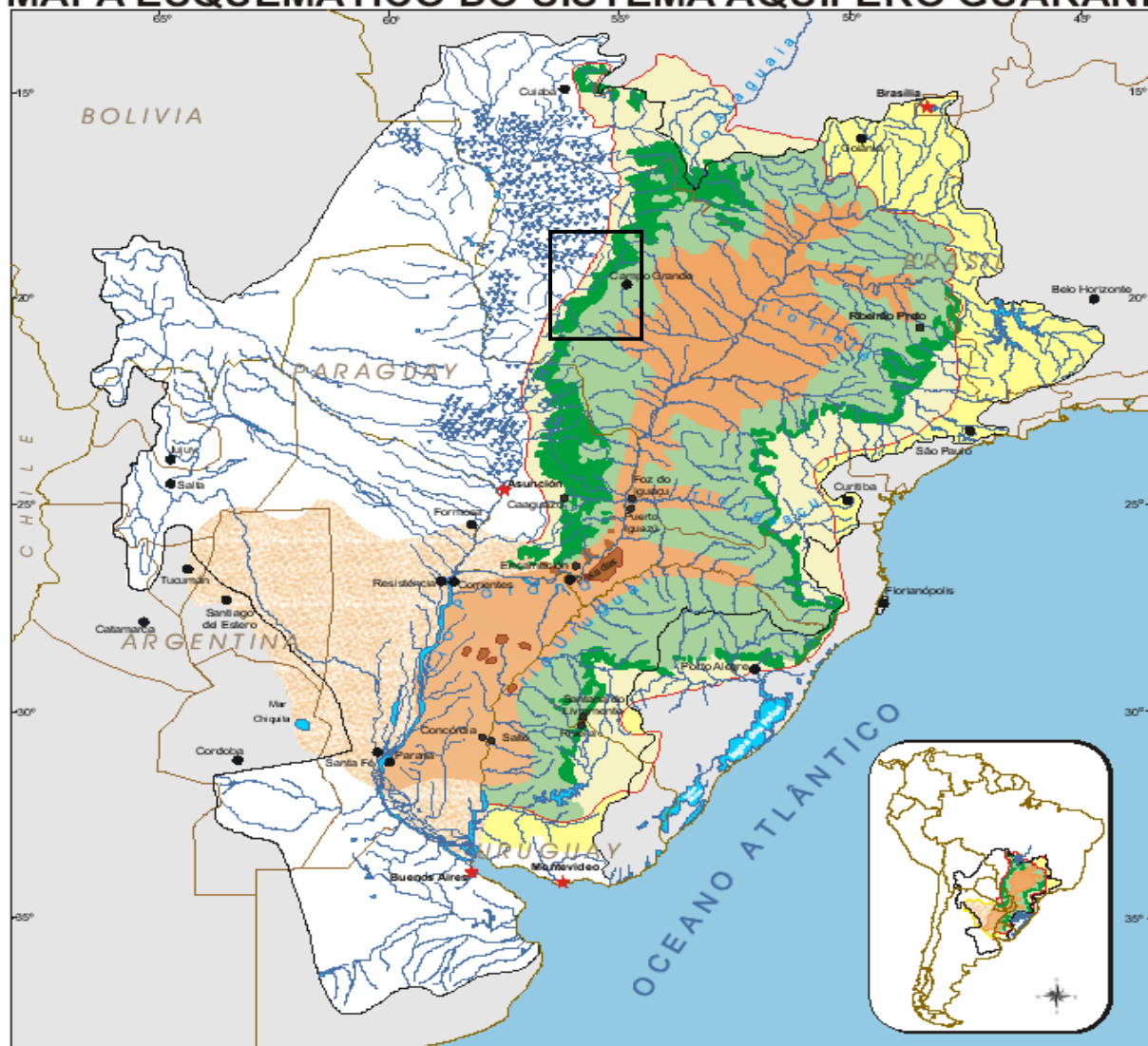
Figura 4.1. Bacia do Alto Paraguai



Fonte: STEFFEN, PARANHOS FILHO, ROCHA, RAMOS, 2002.

Figura 4.2. Bacia hidrográfica do Rio Miranda

MAPA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA AQÜÍFERO GUARANI



LEGENDA

- | | |
|---|---------------------------------------|
| Drenagens não relacionadas ao Aquífero Guarani (não integram o Sistema) | Limite bacia hidrográfica do Prata |
| Área potencial de recarga indireta | Limite bacia sedimentar do Paraná |
| a partir da drenagem superficial | Rios |
| a partir do fluxo subterrâneo | Áreas alagadas |
| Área potencial de recarga direta | Limite político de País |
| regime poroso: afloramento do Guarani | Limite político de Estados/Províncias |
| regime fissural/poroso: basaltos e arenitos | Cidade |
| Área potencial de descarga | Capitais Estados/Províncias |
| regime fissural (poroso: basaltos e arenitos (divisivos)) | Capital dos Países |
| regime poroso: afloramentos do Guarani | |
| regime fissural (poroso (relação com o Guarani a definir)) | |
- Escala Aproximada 1: 13.600.000
- 0 100 200 300 km

Notas:

- Figura ilustrativa elaborada pela CAS/SR/WMMA (UNEP/Brasil) aprovada pelo Conselho Superior de Preparação do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai - GEF/Banco Mundial - OEA).
- As porções coloridas representam as áreas que, em potencial, compõem o Sistema Aquífero Guarani. As áreas em branco e cinza não integram o Guarani. Os limites do Aquífero Guarani não estão totalmente definidos na Argentina e no Paraguai, tampouco se as áreas de descarga assinaladas estão a ele relacionadas.

Fontes:

- Mapa Hidrogeológico de América del Sur, 1996, DNP/CM/PRM/Unesco.
- Mapa Hidrogeológico do Aquífero Guarani, 1999, Campos H.C.
- Mapa de Integração Geológica da Bacia do Prata, 1998, MERCOSUL/SGT2.
- Mapa de Integração Hidrogeológica da Bacia do Prata, em elaboração, MERCOSUL/SGT2.
- Mapa Geológico do Brasil, 2ª Ed., 1995, MME/DNPM.
- Mapa Geológico de la Cuenca del Rio de la Plata, 1970, OEA.

Fonte: BRASIL, 2003a.

Figura 4.3. Mapa esquemático do aquífero Guarani.

A bacia hidrográfica do Rio Aquidauana limita-se ao Sul e a Leste com a bacia do Rio Paraná, ao Norte com a bacia do Rio Negro e a Oeste com a bacia do Rio Miranda, do qual é tributário. Divide-se em duas áreas diferentes: na parte Norte, drenada pelo curso superior do próprio Rio Aquidauana, revestida de areias quartzosas, com alta susceptibilidade à erosão e na parte Sul, drenada pelos afluentes da margem esquerda, a jusante do Ribeirão Salobra, onde predominam solos com textura silto-argilosa. Grande parte da área está ocupada com pastagens para bovinos e também áreas de agricultura, potencialmente irrigáveis. Predominam as atividades industriais de laticínios, frigoríficos e destilarias de álcool. Possui monitoramento de qualidade de água, operacionalizada pelo Centro de Controle Ambiental da Fundação Estadual do Meio Ambiente, estando enquadrada em classes de uso especial, 1 e 2 pela deliberação do Conselho Estadual de Controle Ambiental nº 003 de 1997. As classes de uso dessa deliberação, seguem aquelas estabelecidas na Resolução CONAMA nº 20/86 (MS/SEMA/FEMAP, 2000).

O Rio Aquidauana tem localização privilegiada devido às suas riquezas naturais, constituindo-se em um grande potencial turístico e reserva de recurso pesqueiro, a montante do posto fluviométrico da cidade de Aquidauana (Resolução SEMA/MS – Secretaria de Estado e Meio Ambiente nº 001, de 20 de outubro de 1999) e renovável anualmente (MORELLI, 2000). Com 286 km de extensão na área do estudo, é o principal afluente do Rio Miranda e um dos principais cursos d'água da Bacia do Rio Paraguai. Nasce nas adjacências da Serra de Maracaju, no Chapadão de São Gabriel D'Oeste, com altitude de 715 m, percorrendo áreas de planalto até a cidade de Aquidauana, a 133 m, e foz no Rio Miranda, a 90 m.

A metodologia proposta será aplicada e testada primeiramente para o posto de Aquidauana no Rio Aquidauana e posteriormente repetida, com a finalidade de comparação dos resultados, aplicada ao posto km 21, no Rio Miranda.

Para o desenvolvimento do trabalho idealizado seguiu-se a seguinte metodologia:

4.2. ESCOLHA DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

Na escolha dos postos os seguintes critérios foram utilizados: postos com série de dados superior a 15 anos e abrangendo o período crítico de estiagem da região.

O Rio Aquidauana possui três postos fluviométricos na área do estudo: um posto em Aquidauana – MS, outro em Palmeiras, no município de Anastácio – MS e um terceiro

posto na Ponte do Grego, no município de Terenos – MS. O Rio Miranda possui somente um posto na área do estudo: o posto km 21 - Miranda.

O posto do Rio Aquidauana em Aquidauana - MS, possui as coordenadas: latitude 20°27'24'' e longitude 55°40'17'', com altitude de 133m e uma área de 15.200 km². O período de observação inicia em 13/01/1968, com réguas e linígrafo instalados. Localiza-se ao lado de montante da velha ponte rodoviária que liga as cidades de Aquidauana e Anastácio, com a seção de medição 32m, a montante. O código do posto é 66945000 (BRASIL, 2003a).

O posto do Rio Aquidauana em Palmeiras, no município de Anastácio - MS, possui as coordenadas: latitude 20°26'53'' e longitude 55°25'41'', com altitude de 162m e uma área de 11.200 km². O período de observação inicia em 13/04/1965, porém no banco de dados da ANA, estão disponíveis somente a partir de 1991. Sua localização, com réguas instaladas, é no lado jusante da ponte de madeira da rodovia Campo Grande-Aquidauana. O código do posto é 66941000 (BRASIL, 2003a).

O posto do Rio Aquidauana em Ponte do Grego, localiza-se no município de Terenos – MS, com altitude de 190m, uma área de 4.890 km² e possui dados de 1982 a 1995. Possui latitude 20°9'20'' e longitude 5°5'24''. O código do posto é 66926000 (BRASIL, 2003a).

O posto do Rio Miranda localiza-se no km 21 estrada MT-738, atualmente rodovia MS – 345 Anastácio – Bonito, com altitude de 133m e área de bacia de 11.820 km². Possui dados de 1969 a 1995. Possui latitude 20°25'43'' e longitude 56°5'28''. O código do posto é 66900000.

Os postos escolhidos para análise completa foram o posto Aquidauana no Rio Aquidauana e o posto km 21 no Rio Miranda, pois atendem aos critérios estabelecidos para a escolha dos postos.

4.3. ANÁLISE DOS DADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

Para a análise dos postos fluviométricos verificou-se, primeiramente, as falhas de leitura de cotas em todo o período existente no banco de dados da ANA. Os resultados da análise foram apresentados em uma tabela, contendo o ano com suas respectivas falhas, e um resumo com o total dessas falhas, com a contagem dos dias, meses e anos, comparando-se

com o total de dias do período, para verificar o percentual das falhas, importante para definir a qualidade dos dados dos postos selecionados.

Após verificadas as falhas, foi extraído do banco de dados o resumo de descarga, relação das vazões efetivamente medidas em ordem cronológica. Comparou-se a curva chave utilizada no preenchimento dos valores de vazão com a tabela cota x vazão, que consta em banco de dados, a extrapolação utilizada para a parte inferior da tabela e os limites de confiabilidade de sua aplicação para postos selecionados.

Na seqüência, analisou-se as vazões disponíveis em banco de dados com uma planilha eletrônica, correspondentes ao posto e ao período, contendo um resumo para cada mês do período analisado, com a máxima diária, a mínima diária, a média mensal, o dia da máxima, o dia da mínima e as vazões diárias. Calculou-se a média anual e o total de dias com dados, sendo que, para os anos que apresentaram falhas, não foi calculada a média anual. Para o estudo das vazões mínimas, os anos que continham falhas no período das cheias foram aproveitados e as falhas que ocorreram no período de seca foram rejeitados, para maximizar os dados do período analisado.

4.4. RESUMO DAS INFORMAÇÕES

Foi construído um cadastro anual dos postos Aquidauana e km 21 no Rio Miranda, cujo objetivo foi resumir as informações disponíveis das vazões da série histórica, pois a variação das vazões diárias ao longo dos meses e ao longo dos anos é o indicador da disponibilidade hídrica e pode ser tratada por funções hidrológicas, cuja aplicação é facilitada pelo cadastro anual. O cadastro contém os indicadores de vazões para cada ano, com as suas respectivas datas de ocorrência, máxima diária, mínima diária e mínima mensal, transcritos da série de dados, a média anual e o total de dados no ano. Calculou-se a média anual mínima de 7 dias consecutivos, sendo esta a mais trabalhosa, pois exigiu a manipulação da série de dados de vazão. O importante foi que através do cálculo da média anual mínima de 7 dias consecutivos, conheceu-se a série e foram verificadas as anormalidades.

O cadastro serviu para a facilidade de seleção dos indicadores de vazões extremas de todo o período para as diversas durações; a vazão média de longo período (Q_{lp}); a média das mínimas anuais de 7 dias consecutivos (MAM7) e a vazão específica em $L/s.km^2$ de todos os indicadores.

Foi construída uma representação gráfica com as vazões mínimas com duração diária, sete dias e mensal, extraída do cadastro anual e colocada em sua forma adimensional, dividindo-se a mínima diária pela média diária e assim sucessivamente, cujo objetivo foi verificar se as durações possuíam a mesma tendência, escolhendo-se aquela que representou todas as outras.

Para se conhecer em quais meses ocorre a vazão mínima de 7 dias, foi construída uma tabela, produto do cadastro anual, contendo o mês correspondente ao ano em que ocorreu, quantos anos a vazão mínima ocorreu naquele mês e o percentual de ocorrência.

Para se conhecer a variabilidade sazonal, construiu-se um cadastro mensal, cujos dados foram selecionados dos dados de vazões, contendo os valores das vazões mensais para cada ano. Para se verificar a variabilidade das vazões para cada mês, calculou-se os valores adimensionais para todos os meses do ano. Os valores adimensionais foram obtidos dividindo-se a mínima pela média e a máxima pela média. Para melhor visualização, foi construído um gráfico apresentando a variabilidade da vazão mensal ao longo do ano e também em forma adimensional, importante para estudos comparativos entre bacias.

4.5. REPRESENTATIVIDADE DA SÉRIE DE DADOS

Para se verificar a representatividade da série de dados, elaborou-se uma tabela, contendo a série de vazões anuais com valores comparativos de outros postos da mesma bacia e bacias vizinhas.

Analisou-se a consistência dos dados através do cálculo da evaporação, do coeficiente de escoamento e da vazão específica dos postos, para efeito comparativo.

Fez-se a comparação da variabilidade das vazões, através da análise da série de dados com o período crítico e sem o período crítico da estiagem. A intenção foi verificar se as diferenças entre os valores obtidos eram expressivas.

Para confirmar a variação anual do posto escolhido e o período crítico de estiagem, selecionou-se postos da própria bacia e bacias vizinhas e seus respectivos dados, provenientes da tabela em que se verificou a representatividade dos dados e a variabilidade inter-decadal, construindo-se um gráfico representativo na sua forma adimensional. Para melhor confirmação do período crítico de estiagem, foi necessário realizar a comparação com

estudos já realizados na bacia, como por exemplo, o realizado em Ladário, por GALDINO, VIEIRA, OLIVEIRA et al (2002).

4.6. FREQUÊNCIA

O objetivo da análise de frequência foi obter a relação entre a variável estudada e a probabilidade de ocorrerem valores menores ou iguais. Um dos indicadores de vazão pretendidos foi a $7Q_{10}$ e o índice foi $7Q_{10}/Q_{lp}$.

O risco de ocorrência de vazões extremas foi analisado através da curva de frequência. Os dados de vazão necessários foram extremos anuais, considerando o ano civil. As séries anuais de mínimos foram utilizadas com durações de 7 dias, diária e mensal provenientes do cadastro anual. A posição de plotagem da vazão de ordem i foi obtida pela equação de WEIBULL *apud* TUCCI (1997) 4.2. Os valores obtidos pela equação, foram colocados em ordem crescente, independente das outras colunas. A frequência (F) e o tempo de retorno (T_i) foi calculado por:

$$F = \frac{i}{(N+1)} \quad (4.1)$$

$$T_i = \frac{1}{F_i} \quad (4.2)$$

onde N é o número total de valores da série de dados e i é o número de ordem.

4.7. PERMANÊNCIA

O objetivo da análise de permanência foi obter os indicadores Q_{50} , Q_{90} e Q_{95} , com duração mensal para todo o período e para cada mês, juntamente com os índices Q_{95}/Q_{lp} e Q_{90}/Q_{50} . Foi feita a verificação da permanência diária para alguns anos, individualmente.

A permanência foi calculada por meio dos dados históricos de vazão, considerando a duração mensal em todo o período analisado, seguindo-se a metodologia abaixo.

Selecionou-se os meses dos anos correspondentes e seus valores médios, dispondo-os em coluna vertical. Em seguida, criou-se uma nova coluna, numerando-a em ordem crescente, de 1 a N . Após, copiou-se a coluna contendo a média mensal, para uma

outra coluna ao lado daquela que já estava numerada, colocando-a em ordem crescente, independente do ano a que corresponde. Finalmente, calculou-se a permanência, cujo resultado foi colocado em coluna ao lado da coluna de média mensal ordenada, usando-se a equação 4.3.

Foi calculada também a permanência considerando individualmente os valores de cada mês do período analisado, por exemplo, a Q_{95} para todo o mês de janeiro, Q_{95} para todo o mês de fevereiro e assim sucessivamente. Para o cálculo, selecionou-se os meses dos anos correspondentes e seus valores médios, dispondo-os em coluna vertical. Selecionou-se cada coluna verticalmente, por exemplo, a coluna contendo o mês de janeiro, colocando-a em ordem crescente independente da coluna com os anos correspondentes. Criou-se uma nova coluna, que foi numerada em ordem crescente e uma outra ao lado desta, contendo o valor da permanência, calculado por meio da equação 4.3. Estes cálculos resultaram nos indicadores e índices selecionados para o estudo. Para melhor entendimento, representou-se graficamente a variabilidade das vazões, para todo o período e para cada mês do ano.

$$P=100 \left(1 - \frac{i}{(N+1)} \right) \quad (4.3)$$

sendo N o número de ordem total da série e i o n° de ordem.

4.8. DEPLEÇÃO

O objetivo da análise da recessão foi obter a constante de recessão do tempo médio de esvaziamento do reservatório de escoamento subterrâneo (K_b) e o índice de meia vida (HFP).

O método baseou-se na estimativa do comportamento da bacia na estiagem. Selecionou-se os dados referentes às vazões diárias de cada ano, considerando o período mais representativo da estiagem. Após, construiu-se um fluviograma contendo os eventos mais representativos em todo o período de dados, adicionando-se a cada evento a linha de tendência e mostrando a equação, que melhor se ajusta aos dados. O ajuste é verificado pelo valor do coeficiente de correlação elevado ao quadrado ou coeficiente de determinação R^2 , que representa a proporção com que a variação dos valores da variável independente em torno da média é explicada. Sua faixa de variação é entre 0 e 1, sendo que uma função é mais

adequada, quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de determinação (SANTOS, TUCCI, SILVEIRA *et al* 2001).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{ic} - Q_{io})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{io} - \bar{Q}_o)^2} \quad (4.4)$$

onde, Q_{ic} é a vazão calculada no intervalo i , Q_{io} a correspondente vazão observada, $\bar{Q}_o$ a média das vazões observadas e N o número total de valores.

Para se obter os valores da constante de recessão, os valores de vazões diárias no período da estiagem foram plotados num gráfico, partindo-se de um valor inicial até o último valor decrescente. O valor de K_b foi obtido pela equação 3.6, ajustada para cada evento selecionado e calculando-se a média dos valores encontrados.

Para calcular o tempo de meia vida (HFP), foi utilizada a equação 3.6 que representa o escoamento subterrâneo, partindo-se de uma vazão inicial (Q_0) conhecida, a vazão final é a vazão metade da inicial ($Q_0/2$), calculou-se então, o tempo de meia vida, considerando-se que o valor de K_b já era conhecido.

4.9. VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para verificar o método proposto de regionalização de vazão mínima, a precisão dos mesmos foi obtida usando-se os dados de uma bacia real. Para isso foi escolhido um ponto de interesse, que corresponde ao posto Ponte do Grego, com área de 4.890 km² e 12 anos de dados e vazões mínimas conhecidas, onde as vazões foram supostas como inexistentes, apenas para efeito de testes. Infelizmente na bacia do km 21 – Miranda, não existe nenhum posto fluviométrico dentro da bacia para esse tipo de verificação.

No caso da regionalização com o método proposto, os valores das vazões mínimas diária, sete dias, mensal, Q_{95} , e $7Q_{10}$, foram calculados simulando duas situações: considerando que não existem dados e com poucos dados, mas o suficiente para calcular a vazão média anual de longo período. O valor calculado da vazão mínima diária foi então comparado, para cada situação, com o valor real observado no posto Ponte do Grego e assim por diante. Método proposto para bacia sem dados: foi considerado o fator de

representatividade do período crítico de estiagem da região, 1968/1971, pois o posto Ponte do Grego possui dados de 1982 a 1995, ou seja, fora do período crítico.

4.9.1. Previsão da vazão de estiagem

Para verificação do método utilizado, foram comparados os valores reais de vazões diárias de estiagem do ano de 2001 e 2002 e os valores obtidos pelo método proposto, determinando R^2 , conforme item 4.8.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização deste trabalho, foram verificados os estudos hidrológicos já existentes na região, como por exemplo, “Estudos hidrológicos da bacia do Alto Paraguai” do DNOS (1974), onde se obteve informações de vazões medidas no período mais crítico e o estudo da ELETROBRÁS (1983) “Regionalização de vazões da Bacia do Alto Paraguai”, de onde se obteve a equação de regressão para vazões mínimas, compreendendo as cabeceiras dos Rios Aquidauana e Miranda.

Foram analisados os dados da série histórica referentes às falhas das cotas, o resumo das vazões medidas dispostas em ordem cronológica, o seu produto tabela de cota x vazão ou curva chave, a série das vazões e a seção transversal dos rios. Os dados foram obtidos do site da ANA. Os arquivos vieram compactados e possuíam o formato de banco de dados e foram armazenados em pasta, uma para cada posto, como no exemplo Figura 5.1. Após descompactados, foram transferidos para uma planilha eletrônica, facilitando a análise.

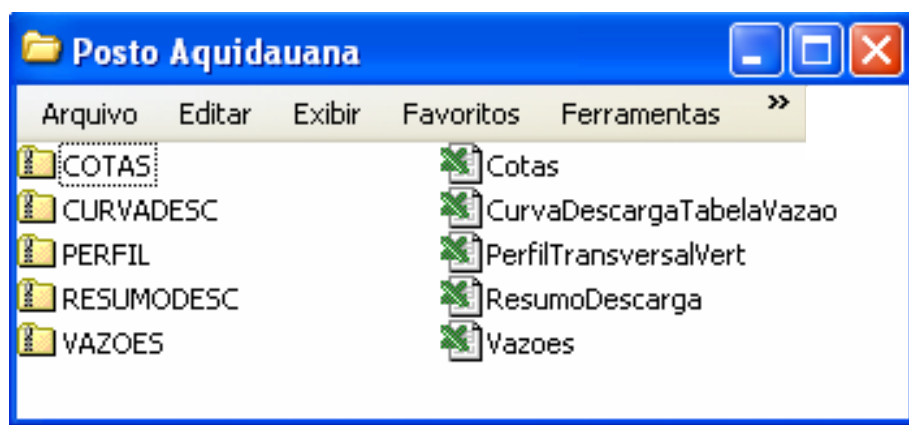


Figura 5.1. Exemplo dos arquivos constantes no banco de dados da ANA.

Para a realização dos trabalhos deste estudo foi utilizado um computador de baixa capacidade, mas que suportou uma planilha eletrônica e um editor de texto. Seguiu-se as seguintes etapas:

5.1. ANÁLISE DOS DADOS DOS POSTOS FLUVIOMÉTRICOS SELECIONADOS

Para a análise dos postos fluviométricos, verificou-se as falhas do período existente, cujos resultados foram apresentados através de uma tabela (Tabela 5.1 e 5.2).

Tabela 5.1. Falhas de leitura das cotas nos postos Aquidauana e km 21 - Miranda

ANO	POSTO AQUIDAUANA	POSTO KM 21 - MIRANDA
1968	Falhas de 01 a 12/01	Todo o ano
1969	-	Falhas de 01/01 a 31/10
1989	Falhas de 01/03 a 31/12	Falhas de 01/03 a 31/12
1990	Todo o ano.	Todo o ano.
1991	Falhas de 01 a 31/01	Todo o ano.
1992	Falhas de 01/11 a 31/12	Falhas de 01/05 a 31/12
1993	Falhas de 01/08 a 31/12	Falhas de 01/08 a 31/12
1994	Falhas de 01/01 a 31/01	-
1995	Falhas de 02 e 03/11	-
1998	Falhas de 01/03 a 31/05 e 01/09 a 31/12	Todo o ano

Tabela 5.2. Resumo de falhas das cotas dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda

CONTAGEM DOS DIAS	DIÁRIA	MENSAL	ANUAL
Posto Aquidauana			
1968 a 2002	12.782 dias	420 meses	35 anos
Nº de valores que contém	11.609 dias	382 meses	26 anos completos
Falhas no período	1.173 dias	38 meses	9 anos
Percentual representativo das falhas	9%	9%	25,7%
Posto km 21 – Miranda			
1969 a 1995	9.855 dias	324 meses	27 anos
Nº de valores que contém	8.092 dias	264 meses	21 anos completos
Falhas no período	1.763 dias	60 meses	6 anos
Percentual representativo das falhas	18%	19%	22%

Para o estudo das vazões mínimas, no intuito de maximizar o aproveitamento dos dados do período existente, as falhas que ocorreram no período das cheias foram aproveitadas, pois sabe-se que as vazões mínimas ocorrem no período da seca, por isso, as falhas que ocorreram no período de seca foram rejeitadas. Por exemplo, na bacia do Rio Aquidauana, dos nove anos com falhas, foram aproveitados 5 anos e descartados 4, considerando-se os valores de vazões mínimas para esses anos, subindo então o número de anos aproveitados para 31 anos, o que representa um percentual de falhas de 11,4%, melhorando sua representatividade.

Após verificadas as falhas das cotas, extraiu-se do banco de dados a relação das vazões efetivamente medidas dos postos selecionados, para a verificar a confiabilidade da tabela cota x vazão. Os dados foram dispostos como apresentados na Tabela 5.3 para o posto Aquidauana e 5.5 para o posto km 21 – Miranda, para melhor visualização da variação da

relação entre cota x vazão. Para facilitar a visualização, padronizou-se destacar com negritos os valores de interesse do estudo.

Em seguida, foram selecionados os extremos de vazões medidas, para se verificar a extrapolação usada na aplicação da tabela cota x vazão. A confiabilidade dos dados da relação acima, está entre os extremos das cotas relacionadas com as vazões efetivamente medidas (Tabela 5.4 para o posto Aquidauana e 5.6 para o posto km 21 - Miranda). O período de 1979 a 1991 não consta no banco de dados da ANA, por isso, não foi apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.3. Tabela de cota x vazão do posto Aquidauana nos períodos apresentados

VAZÃO INICIAL (m³/s) 1968 a 1978	COTAS (cm)	VAZÃO ATUAL (m³/s) 1992 a 2002
19,5	130	
24,5	140	
30	150	
35	160	
40	170	
45,3	180	
50,5	190	
55,7	200	21
61	210	24
66,5	220	29
72	230	34
77,7	240	40
83,4	250	46
89,1	260	52
95	270	58
101	280	64
107	290	71
113	300	78
119	310	85
125	320	92
143	350	113
176	400	148
253	500	224
456	700	394
507	750	439
548	790	479
758	990	698

Tabela 5.4. Resumo de medições de vazão do posto Aquidauana

	1967 a 1978		1992 a 2002	
	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Cota	Vazão
Total de medições		102		52
Mínima	103	21,6 nov/1970	258	57,9 ago/1994
Máxima	758	540 jan/1978	752	415 dez/1997
Limites de confiabilidade atual		Mínima	260	46 set/1997
		Máxima	752	415

Tabela 5.5. Tabela cota x vazão para o posto km 21 - Miranda

VAZÃO INICIAL (m³/s) 1969 a 1976	COTAS (cm)	VAZÃO ATUAL (m³/s) 1976 a 2002
	60	7,5
7,9	70	12
11,6	80	17
15,6	90	23
20,0	100	29
24,7	110	36
29,7	120	43
35,0	130	51
40,6	140	59
46,4	150	67
52,5	160	75
58,8	170	83
65,4	180	91
72,1	190	99
79,0	200	107
86,1	210	115
93,4	220	123
100,8	230	131
116,0	250	147
159,3	300	194
246,0	400	294
335,0	500	399
670,0	800	773
821,0	900	936
1000,0	1000	1114
1059,9	1030	1168

Tabela 5.6. Resumo de medições de vazão do posto km 21 - Miranda

	1969 a 1976		1976 a 2002	
	Cota (cm)	Vazão (m³/s)	Cota	Vazão
Nº medições		69		48
Mínima	87	13,6	78	11 out/1979
Máxima	1025	1083	1020	1168 dez/1982
Limite de confiabilidade atual		Mínima	78	11
		Máxima	1020	1168

É importante notar a mudança ocorrida na relação da tabela cota x vazão para os dois períodos, mostrando a necessidade de medições constantes para manter a relação atualizada. Verificou-se pequena extrapolação para valores inferiores, revelando a qualidade dos dados para vazão mínima.

Analisou-se as seções transversais, disponíveis no banco de dados, verificando que as seções são móvel, mas, é necessário a confirmação da amarração das seções de medição, devido ao deslocamento na sua largura, conforme os resultados das figuras 5.2 e 5.3.

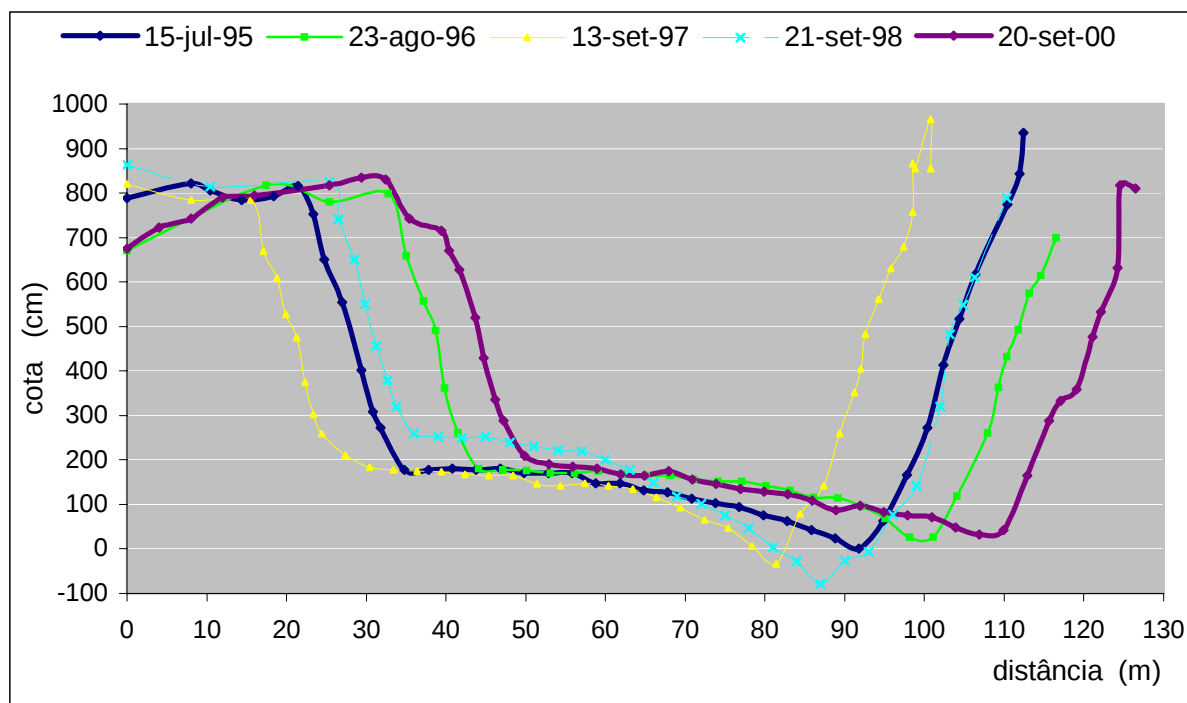


Figura 5.2. Seção transversal do posto Aquidauana nos anos de 1995 a 2000

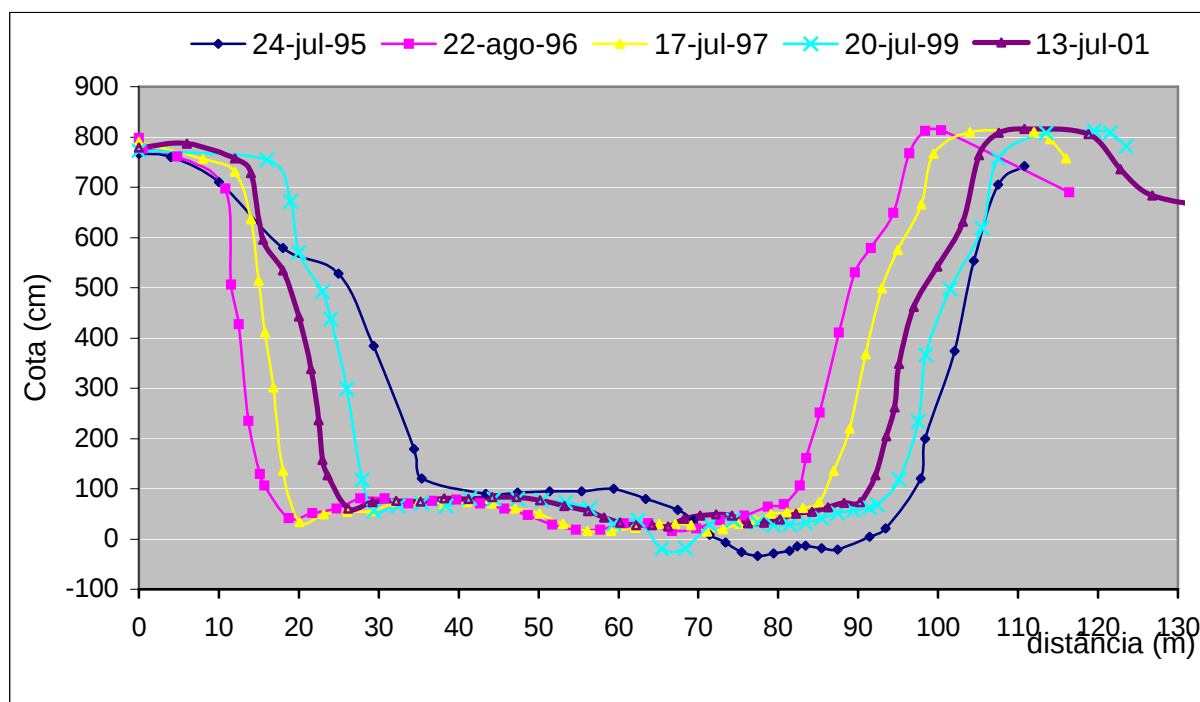


Figura 5.3. Seção transversal do posto km 21 – Miranda nos anos 1995 a 2001

Finalmente, analisou-se as vazões disponíveis no banco de dados, com uma planilha eletrônica, correspondentes ao posto e ao período considerado, que contém um resumo para cada mês do período analisado, com a máxima diária, a mínima diária, a média mensal, o dia da máxima, o dia da mínima. Após calculou-se a média anual e o total de dias no ano com dados, sendo que os anos que apresentaram falhas, estas foram coincidentes com as falhas das cotas, alguns foram aproveitados, seguindo-se os mesmos critérios já apresentados (exemplo Tabela 5.7). Para uma rápida visualização, padronizou-se uma legenda destacando em fundo cinza as falhas e negritos para os valores de interesse do estudo. Foi construído o fluviograma das vazões médias mensais e a mínima diária de cada mês, para todo o período da série histórica, plotando-se em ordem cronológica, para se conhecer a variabilidade da vazão e identificar possíveis anormalidades dos dados, que será mostrado somente no final dos resultados, devido à grande quantidade de informações que contém, já incluídos os indicadores representativos da situação de estiagem.

Tabela 5.7. Exemplo de manipulação da série histórica de vazão

Data	Máxima	Mínima	Média	Dia da Máxima	Dia da Mínima.	Media Anual	Valores	Vazão 01	Vazão 02...
Jan-68	309,8	74,2	112,3	22					
Fev-68	123,8	60,5	84,3	19	6			74,2	69,0
Mar-68	58,9	42,1	51,0	13	31			58,4	52,1
Abr-68	44,7	30,0	37,2	23	17			37,3	38,9
Mai-68	85,3	33,1	46,6	11	28			71,6	67,4
Jun-68	33,7	28,4	30,7	1	19			33,7	33,1
Jul-68	30,5	25,2	27,6	1	29			30,5	30,0
Ago-68	47,9	24,7	30,9	12	3			25,2	25,2
Set-68	41,6	25,8	30,2	23	30			28,4	30,5
Out-68	111,1	23,6	40,4	18	6			24,7	24,7
Nov-68	34,2	21,5	26,7	1	24			34,2	30,5
Dez-68	207,4	27,9	82,3	27	17	50,2	353	34,7	36,3
Jan-98	291,2	87,1	108,0	31	28			108,8	103,2
Fev-98	203,2	101,8	142,9	25	13			168,3	182,4
Mar-98									
Abr-98									
Mai-98									
Jun-98	269,6	94,1	118,6	1	29			269,6	220,8
Jul-98	94,8	66,8	80,1	11	31			88,5	87,1
Ago-98	397,6	66,8	150,3	12	1			66,8	66,8
Set-98									
Out-98									
Nov-98									
Dez-98							151		
Jan-00	78,0	47,2	61,1	11	19		recalculado	76,6	75,2
Fev-00	238,4	55,0	120,0	17	4			87,8	71,7
Mar-00	689,2	187,2	383,5	14	31		187,2	218,4	267,2
Abr-00	169,0	99,0	122,7	1	26		99,0	166,2	156,4
Mai-00	114,4	76,6	89,0	3	28		76,6	108,8	109,5
Jun-00	146,6	68,2	68,1	8	24		60,4	78	78
Jul-00	145,2	78,0	61,7	26	24		55,6	59,2	59,2
Ago-00	139,6	117,2	58,9	3	26		49,6	60,4	60,4
Set-00	162,0	33,5	81,7	1	18		33,5	159,9	156,4
Out-00	115,8	48,4	62,2	28	23		49,0	59,8	58,3
Nov-00	103,2	47,2	69,4	16	24			60,7	62,8
Dez-00	379,6	72,4	199,8	17	3	115,1	366	132,6	103,55

Legenda					
Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínimas	Máximas	Média anual	Valores

Na série do posto Aquidauana, o ano de 2000 apresenta erros nos valores da mínima diária dos meses de junho a agosto, onde a mínima diária apresentada possui o valor de 68,2; 78 e 117,2, respectivamente. Os valores foram corrigidos selecionando-se as vazões diárias de cada mês constantes no banco de dados da ANA e recalculados, obtendo-se 60,4; 55,6 e 49,6, respectivamente. Além disso, questiona-se, se as cotas de setembro de 2000, não apresentaram erros de leitura, pois em uma visita ao posto em junho de 2000, confirmou-se a informação que as leituras dos últimos meses estavam erradas, sendo corrigidas posteriormente, mas presume-se que a correção não se estendeu até setembro do mesmo ano (Figura 5.4). Na série do posto km 21 – Miranda, os meses de janeiro de 1994 e 1995, apresentam valores diários idênticos, caracterizando uma falha de preenchimento das leituras das cotas, principalmente sabendo que, também houve falhas em janeiro de 1994 no posto Aquidauana.

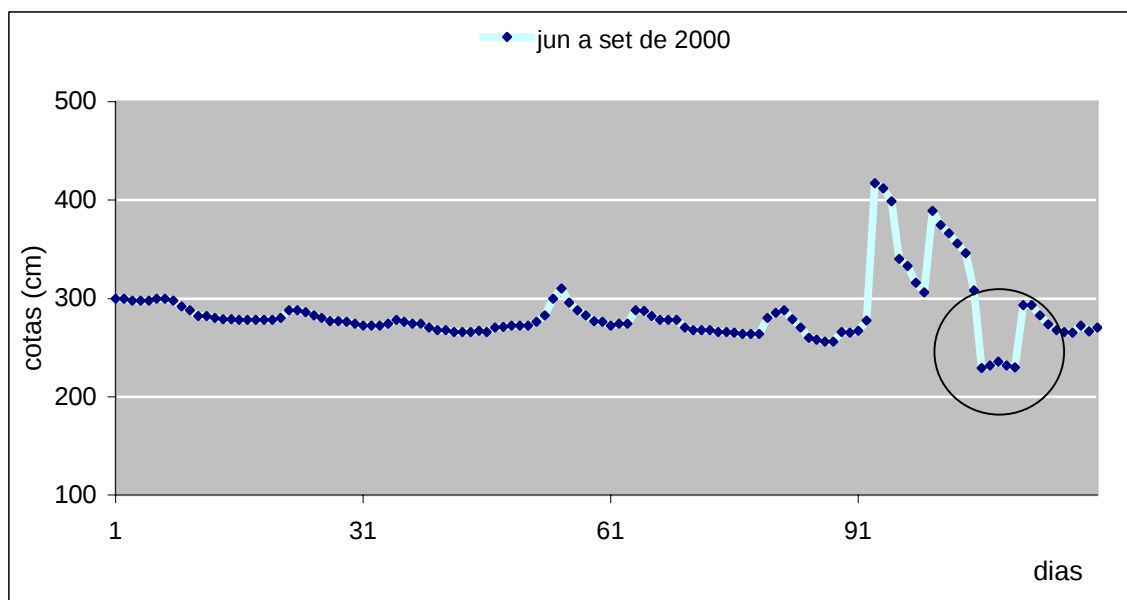


Figura 5.4. Cotograma diário de junho a setembro de 2000 do posto Aquidauana.

5.2. RESUMO DAS INFORMAÇÕES

5.2.1. Cadastro anual dos postos fluviométricos Aquidauana e km 21 - Miranda

Foi construída uma tabela para cada posto, definida como cadastro anual (Tabela 5.8 para o posto Aquidauana e 5.9 para o posto km 21 - Miranda), contendo os indicadores de vazões para cada ano, máxima diária, mínima diária e mínima mensal, com as suas respectivas datas de ocorrência, transcritos da série de dados e também, o total de leituras diárias para cada ano, a média anual e a média anual mínima de 7 dias consecutivos. O mais importante, foi verificar se existem anormalidades na série, por isso não foi usado nenhum

programa para calcular esses valores. Os cadastros anuais dos postos Aquidauana e km 21 Miranda serviram, também, para calcular a vazão média de longo período e em sua forma específica, apresentados no final das tabelas 5.8 e 5.9 (Cadastro anual do posto Aquidauana e km 21 - Miranda).

Tabela 5.8. Cadastro anual do posto Aquidauana (vazões em m³/s), 1968/2002

Amostra	Leituras		Média anual	Máxima diária		Mínima diária		Mínima 7 dias		Mínima mensal	
	Ano	Diárias		Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data
1	1968	354	50,3	302,3	11/Jan	21,5	25/Nov	24,0	7 a 13/11	26,7	NOV
2	1969	365	56,9	453,1	04/Mai	16,8	10/Set	20,1	8 a 14/09	22,6	SET
3	1970	365	51,3	247,9	09/Mai	22	24/Nov	23,5	15 a 21/11	27,8	AGO
4	1971	365	49,1	262,6	06/Dez	23,1	22/Set	23,7	20 a 26/09	29,1	SET
5	1972	366	85,0	536	18/Nov	30,5	22/Ago	34,1	18 a 24/08	39,4	JUN
6	1973	365	98,8	527,8	27/Nov	27,3	23/Set	27,6	20 a 26/09	32,2	SET
7	1974	365	141,8	522,6	01/Jan	45,2	15/Out	46,0	11 a 17/10	54,6	SET
8	1975	365	123,4	440,7	01/Jan	54,2	25/Set	54,7	19 a 25/09	58,1	SET
9	1976	366	159,3	681,8	25/Dez	51,5	03/Set	53,2	29 a 04/09	67,4	JUL
10	1977	365	167,4	632,0	25/Fev	55,7	25/Out	59,5	12 a 18/09	60,9	AGO
11	1978	365	138,4	603,3	11/Jan	52,6	13/Ago	53,5	11 a 17/08	56,0	AGO
12	1979	365	133,2	556,8	17/Fev	56,8	7/Set	59	2 a 8/9	66,0	AGO
13	1980	366	159,5	491,0	29/Fev	69,3	8/Set	72,1	2 a 8/9	84,0	AGO
14	1981	365	150,7	520,3	14/Jan	75,4	15/Set	75,7	14 a 20/09	80,7	SET
15	1982	365	178,9	630,9	15/Dez	54,4	12/Set	59,3	10 a 16/09	70,5	SET
16	1983	365	158,3	607,8	01/Fev	53,8	02/Out	58,8	29 a 04/09	66,2	AGO
17	1984	366	93,8	420,1	01/Fev	32,5	31/Out	36,8	29 a 04/11	47,7	SET
18	1985	365	69,7	292,8	05/Mar	24,5	20/Nov	27,3	17 a 23/11	35,4	SET
19	1986	365	76,2	331,9	01/Jun	25,5	28/Out	27,9	26/10 a 02	36,9	OUT
20	1987	365	107,0	518,7	02/Fev	34,6	30/Set	39,7	19 a 25/09	40,9	SET
21	1988	366	87,3	450,0	18/Mar	30,0	08/Out	34,3	04 a 10/10	35,8	OUT
	1989	59									
	1990	0									
22	1991	334	133	591,3	05/Mar	46,0	14/Ago	49,8	14 a 20/08	51,2	AGO
23	1992	305		503,3	04/Mai	65,4	30/Ago	71,6	23 a 31/08	74,6	AGO
	1993	212									
24	1994	334	97	379	20/Abr	38,8	12/Out	43,8	10 a 17/10	48,3	SET
25	1995	363	113,4	447,0	04/Fev	40,0	11/Set	44,4	05 a 11/09	44,5	SET
26	1996	366	105,0	318,4	22/Mai	46,6	19/Out	50,2	15 a 21/10	54,3	AGO
27	1997	365	130,3	691,4	5/Dez	44,8	15/Out	46,4	12 a 18/10	57,0	SET
	1998	151									
28	1999	365	89,6	297,6	07/Jan	40,0	16/Out	41,2	11 a 17/10	47,8	AGO
29	2000	366	115,1	689,2	14/Mar	33,0	18/Set	46,0	14 a 20/09	58,9	AGO
30	2001	365	153,8	614,4	15/Nov	47,8	13/Set	49,6	9 a 15/09	59,6	AGO
31	2002	365	98,7	405,7	1/Jan	48,4	28/Out	52,6	24 a 30/10	55,6	OUT
Longo período (Q _{lp})		m ³ /s	112,5	482,8	Média	42,2	Média	45,4	MAM7	51,3	Média
Vazão específica: L/s.km ²			7,4	31,8		2,8		3,0		3,4	

Legenda

Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínima	Máxima	7 dias
-----------------	----------------------	--------	--------	--------

Tabela 5.9. Cadastro anual do posto km 21 – Miranda (vazões em m³/s), 1969/1995

Amostra	Ano	Leituras diárias	Média Anual	Máxima diária		Mínima diária		Mínima 7 dias		Mínima mensal	
				Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data	Valor	Data
1	1968										
2	1969	61									
3	1970	365	34,9	326	Maio	13,6	12/Dez	16,2	20 a 26 Out	18,7	Ago
4	1971	365	39	248	Jul	15,3	22/Set	15,8	19 a 25 Set	21,6	Set
5	1972	366	88,7	905	Nov	16,9	5/Ago	17,5	1 a 8 Ago	21,5	Jul
6	1973	365	66,7	640	Nov	17,4	19/Set	17,8	16 a 22 Set	22,2	Set
7	1974	365	125	1022	Jan	22,1	16/Out	23,2	11 a 17 Set	25,6	Set
8	1975	365	64	438	Nov	17,9	17/Jun	20,7	12 a 18 Jun	26,9	Jun
9	1976	366	122	1083	Dez	29,7	04/Set	31	30 Ago a 5 Set	36,9	Ago
10	1977	365	93,8	825	Jan	22,3	02/Nov	24,9	30 Out a 5 Nov	28,6	Ago
11	1978	365	66,2	698	Nov	20,5	14/Ago	20,9	10 a 16 Ago	21,8	Ago
12	1979	365	96,6	908	Jan	11	28/Out	12,3	25 a 31 Out	27,7	Out
13	1980	366	95,6	591	Nov	19,5	07/Set	20,7	2 a 9 Set	26,1	Ago
14	1981	365	61,1	274	Jan	14,8	12/Set	14,8	14 a 20 Set	15,6	Set
15	1982	365	182	1168	Dez	27,3	30/Jan	31,5	25 a 31 Jan	50,2	Set
16	1983	365	216	772	Maio	45,1	10/Nov	50,6	5 a 11 Nov	66,9	Set
17	1984	366	99,2	783	Dez	20,9	30/Out	24,8	25 a 31 Out	28,8	Out
18	1985	365	57,4	408	Mar	14,2	09/Dez	14,2	9 a 15 Dez	17,5	Dez
19	1986	365	56,8	342,0	Mar	15,5	01/Jan	17,3	3 a 9 Nov	19,9	Nov
	1987	316	68,0	452,0	Jun	14,8	27/Set	15,1	24 a 30 Set	20,8	Set
	1988	366	47,1	550,0	Mar	14,2	05/Out	14,6	1 a 7 Out	18,3	Set
	1989	59		916	Jan						
	1990	0									
	1991	0									
20	1992	130									
21	1993	222									
	1994	364	136	1088	Jan	30,3	16/Mar	32,1	23 a 29 Set	40,2	Set
	1995	365	120	1088	Jan	25,9	11/Set	27,1	9 a 15 Set	27,9	Set
Longo período (Q _{lp}): m ³ /s			92,2	705,7	Média	20,4	Média	22,1	MAM7	27,8	Média
Vazão específica L/s.km ²			7,8	59,7		1,7		1,9		2,3	

Legenda

Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínimas	Máximas	7 dias
-----------------	----------------------	---------	---------	--------

Foram elaboradas duas representações gráficas com as vazões mínimas de diversas durações (figura 5.5 para o posto Aquidauana e 5.6 para o posto km 21 - Miranda), extraídas do cadastro anual e transformadas em sua forma adimensional, dividindo-se a mínima de cada ano com duração diária, 7 dias e mensal pela média das mínimas de cada duração, respectivamente. Os anos com falhas do posto Aquidauana foram preenchidos a partir dos dados do posto Ponte do Grego, correlacionando-se as vazões mensais, calculando-se assim, a média anual.

Figura 5.5. Vazão adimensional mínimas do rio Aquidauana – diário, 7 dias e mensal, 1968/2002

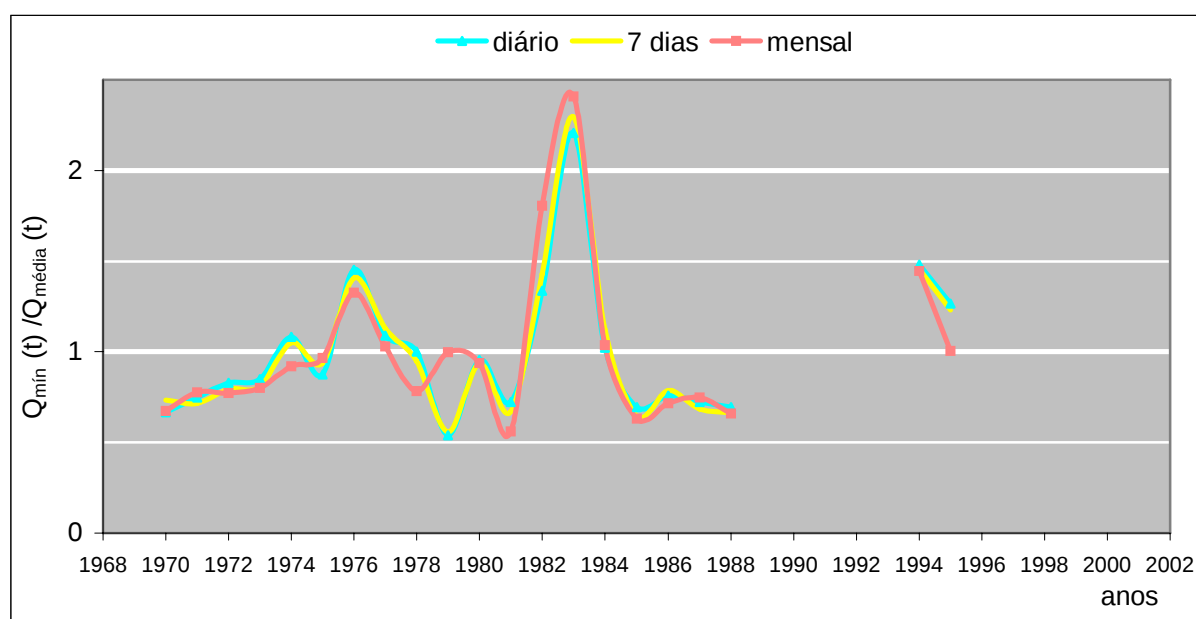
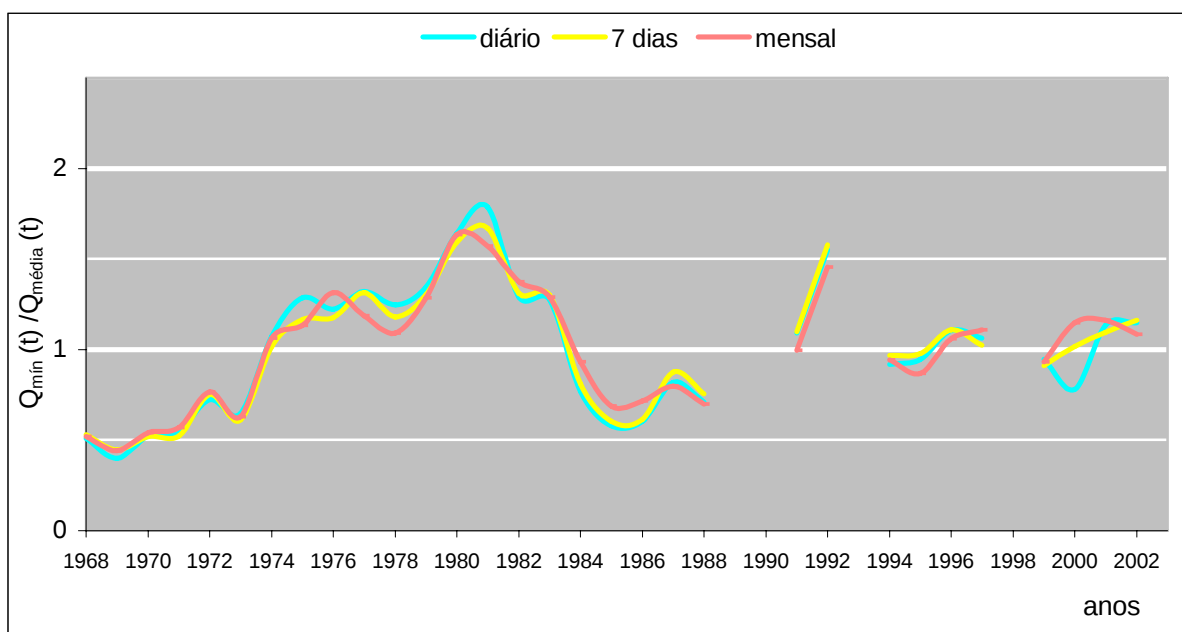


Figura 5.6. Vazão adimensional mínimas do rio Miranda – diário, 7 dias e mensal, 1968/2002

Observa-se que, apesar das durações serem diferentes, os valores possuem a mesma variabilidade para os dois postos, sendo, por isso, escolhida a duração mensal, não esquecendo que as demandas de uso são, em geral, mensais e a situação mais crítica de estiagem ocorre quanto maior a duração, além de ser a série mensal de mais simples manipulação por conter menos dados. Para o posto Aquidauana, o único ano que não acompanha essa tendência é o ano 2000, para a vazão mínima diária, devido a um erro de leitura das cotas conforme apresentado anteriormente, e para o posto km 21 – Miranda o ano

de 1979, para vazão mínima mensal ocorrida em outubro, onde observou-se mínimas diária e 7 dias com menos da metade do valor mensal.

O resumo da variabilidade das vazões foi disposto na Tabela 5.10 para o posto Aquidauana e 5.11 para o posto km 21 - Miranda, com seus respectivos indicadores e em sua forma específica. Os valores foram extraídos do cadastro anual.

Tabela 5.10. Resumo da variabilidade das vazões do posto Aquidauana

Período 1968 / 2002				
Vazões em m³/s				
Indicadores de vazão	Diária	Mensal	Anual	7 dias
Máxima	691,4	460,1	178,9	75,7
Mínima	16,8	22,6	49,1	20,1
Longo Período (Q _{lp})			112,5	
Vazões específicas em L/s.km²				
Máxima	45,5	30,3	11,8	5,0
Mínima	1,1	1,5	3,2	1,3
Variação	41,3	20	3,7	3,8

Tabela 5.11. Resumo da variabilidade das vazões do posto km 21 - Miranda

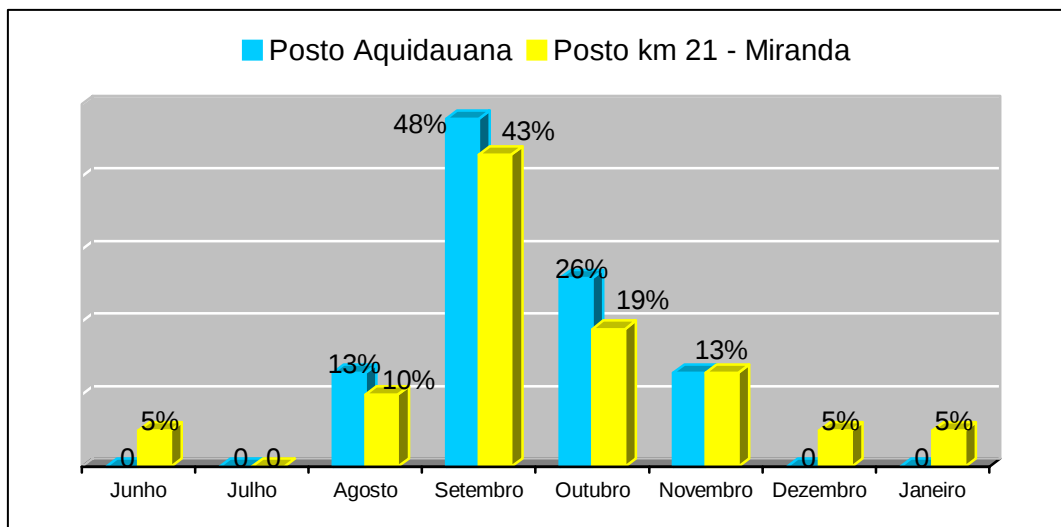
Período 1969 / 1995				
Vazões em m³/s				
Indicadores de vazão	Diária	Mensal	Anual	7 dias
Máxima	1168,0	532,0	216,0	50,3
Mínima	11	15,6	34,0	12,3
Longo Período (Q _{lp})			92,2	
Vazões específicas em L/s.km²				
Máxima	98,6	44,9	18,2	4,26
Mínima	0,93	1,3	2,9	1,04
Variação	109	34	6	4,1

Os meses em que ocorreram as vazões anuais mínimas de 7 dias nas bacias, estão dispostos na Tabela 5.12, sendo os valores extraídos do cadastro anual e o percentual de cada mês calculado da seguinte forma: dividindo-se a ocorrência de cada mês pela soma total de ocorrências. Para melhor visualização elaborou-se a representação gráfica das ocorrências (Figura 5.7).

Tabela 5.12. Ocorrência das vazões mínimas anuais de 7 dias de duração

Posto Aquidauana			Posto km 21 – Miranda		
Período 1968/2002			Período 1969/1995		
Mínima de 7 dias	Ocorrência (anos)	Percentual (%)	Mínima de 7 dias	Ocorrência (anos)	Percentual (%)
Jun	0	0	Jun	1	5
Jul	0	0	Jul	0	0
Ago	4	13	Ago	2	10
Set	15	48	Set	9	43
Out	8	26	Out	4	19
Nov	4	13	Nov	3	13
Dez	0	0	Dez	1	5
Jan	0	0	Jan	1	5
Soma	31	100	Soma	21	100

Figura 5.7. Ocorrência das vazões mínimas anuais de 7 dias de duração, 1968/2002.



5.2.2. Cadastro mensal dos postos fluviométricos Aquidauana e km 21 - Miranda

Para um estudo mais detalhado é necessário conhecer a variabilidade sazonal inter-anual. Para isso, elaborou-se o cadastro mensal (Tabela 5.13 para o posto Aquidauana e 5.14 para o posto km 21 – Miranda), cujos meses foram selecionados do banco de dados. Observa-se que os campos em branco são referentes aos anos em que houve falha de leitura das vazões.

Grande parte do trabalho é traçar os fluviogramas que possuem o maior significado físico, sendo o mais significativo o das vazões mensais com as mínimas diárias de cada mês e os respectivos tempos, para todo o período analisado.

Tabela 5.13. Cadastro mensal do posto Aquidauana (vazões em m³/s)

Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1968	112,3	84,3	51,0	37,2	46,6	30,7	27,6	30,9	30,2	40,4	26,7	82,3	50,0
1969	72,8	73,5	51,1	51,8	124,7	40,9	32,6	25,0	22,6	50,9	89,1	48,2	56,9
1970	56,7	106,7	78,9	53,2	83,6	40,5	34,1	27,8	33,0	35,6	30,1	39,2	51,6
1971	49,8	53,2	66,1	36,2	34,2	41,4	47,9	42,2	29,1	46,3	50,7	91,6	49,1
1972	48,8	164,3	86,5	94,9	56,3	39,4	40,5	42,2	53,3	101,4	190,0	109,3	85,6
1973	103,4	146,4	76,5	53,6	53,5	48,3	48,0	34,0	32,2	93,3	240,9	259,3	99,1
1974	379,5	200,2	209,3	111,1	95,0	122,1	70,0	57,7	54,6	74,2	80,0	246,7	141,7
1975	187,2	220,0	123,5	128,1	87,4	70,7	79,9	63,5	58,1	122,7	150,4	196,2	124,0
1976	288,8	221,0	157,8	120,8	208,0	96,8	67,4	67,6	122,0	114,4	150,9	295,7	159,3
1977	460,1	275,4	143,1	183,5	116,1	111,6	73,7	60,9	91,0	76,3	173,1	251,3	168,0
1978	382,4	148,8	122,6	83,5	81,6	79,6	64,8	56,0	77,8	95,8	193,1	272,4	138,2
1979	183,4	258,4	158,4	108,2	95,9	71,1	79,2	66,0	107,1	90,8	162,9	226,8	134,0
1980	232,5	234,4	226,6	195,1	156,9	108,9	89,6	84,0	110,0	103,7	159,0	216,1	159,7
1981	331,0	206,0	194,1	138,1	122,7	141,4	88,5	87,6	80,7	132,7	111,7	175,2	150,8
1982	149,0	251,8	377,8	171,2	138,5	185,1	125,7	87,1	70,5	123,9	172,3	296,8	179,1
1983	333,8	350,4	203,2	125,8	184,0	166,5	88,7	66,2	69,1	102,1	115,2	108,3	159,5
1984	163,3	171,0	99,3	97,3	86,9	51,5	50,5	56,0	47,7	48,7	81,1	174,5	94,0
1985	95,7	81,8	179,0	81,4	62,2	46,1	70,9	42,1	35,4	42,3	55,9	42,3	69,6
1986	78,7	146,0	112,4	55,1	74,6	82,7	39,0	60,1	48,0	36,9	50,9	134,2	76,5
1987	149,3	251,0	131,9	126,0	139,7	90,3	51,8	46,5	40,9	86,4	83,5	97,5	107,9
1988	128,9	107,5	245,2	111,7	86,5	65,3	48,3	40,8	36,4	35,8	47,8	92,4	87,2
1989	330,4	241,5											
1990													
1991		181,4	316,3	172,1	107,9	97,8	86,8	51,2	63,7	116,9	94,2	171,9	132,7
1992	183,0	118,6	167,1	227,9	316,4	157,3	94,3	74,6	147,5	186,2			
1993	142,6	200,4	145,5	137,2	92,6	88,3	63,3						
1994		122,0	104,6	127,2	117,6	104,2	72,2	54,2	48,3	66,6	94,8	148,5	96,4
1995	222,2	247,1	123,9	145,0	82,2	61,9	59,8	48,1	44,5	146,4	76,9	106,2	113,7
1996	188,0	134,2	201,7	102,7	125,0	75,1	62,6	54,3	75,0	61,2	95,8	84,1	105,0
1997	196,3	250,3	115,6	121,4	91,8	142,1	74,9	72,4	57,0	62,6	82,4	305,0	131,0
1998	108,0	142,9				118,6	80,1	150,3					
1999	171,2	146,7	164,2	98,3	76,1	68,3	58,9	47,8	52,8	50,2	65,5	78,5	89,9
2000	61,1	120,0	383,5	122,7	89,0	68,1	61,7	58,9	81,7	62,2	69,4	199,8	114,8
2001	181,3	205,5	189,4	163,0	152,1	77,6	69,5	59,6	91,0	116,1	259,1	285,0	154,1
2002	172,1	185,4	167,3	87,7	88,0	65,6	84,6	60,9	60,2	55,6	90,6	72,3	99,2
Q _{mm} *	186	178	162	115	109	87	66	59	64	83	111	164	
Média anual para verificação													112,6

* = Vazão média anual para cada mês

Legenda			
Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínimas	Máximas

Tabela 5.14: Cadastro mensal do posto km 21 – Miranda (vazões em m³/s)

Ano/Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1968													
1969											169	55,4	
1970	33,5	49,9	47,5	45,3	56,9	23,9	25,3	18,7	27,5	42,2	24,5	23,9	34,9
1971	50,5	25,1	51	44,9	39,9	26,9	49,5	34,1	21,6	37,5	33,8	53,7	39,0
1972	23,2	69,4	38,7	41,3	42,1	26,1	21,5	21,8	25,8	49,5	431	275	88,8
1973	82,5	90,4	50,1	36,3	42,9	43,8	27,2	24,2	22,2	51	179	151	66,7
1974	488	258	153	74,3	78,8	63,2	34,3	31,6	25,6	40,8	69	179	124,6
1975	83,2	43,4	44,4	81,4	49,2	26,9	48,5	32,9	29,9	95,2	140	92,7	64,0
1976	107	129	113	144	188	60,3	42,3	36,9	85,5	93,3	124	345	122,4
1977	355	120	68,4	73,7	52,5	54,2	39	28,6	44,5	28,3	120	142	93,9
1978	150	41,9	40,4	29,5	30,7	27,1	24,8	21,8	33,2	78,6	151	165	66,2
1979	355	194	79,2	83	62,7	34,6	32,1	28	37,2	27,7	75	151	96,6
1980	154	163	113	94	69,4	40,4	29,1	26,1	42,4	86,7	140	189	95,6
1981	142	61	46,7	26,4	27,3	36,5	20,4	19,2	15,6	66,9	47,6	223	61,1
1982	70,1	125	331	67,6	75,3	269	192	78,7	50,2	209	232	489	182,4
1983	414	309	351	183	472	302	114	85,6	66,9	69,1	106	123	216,3
1984	177	189	74,7	99,7	75,8	42,9	33,3	38,7	33	28,8	139	258	99,2
1985	109	81,2	181	56,3	51,2	34,7	36,7	32,3	23,5	32,4	32,6	17,5	57,4
1986	53,7	120	69,8	29,1	88,6	62,1	29,9	36,2	39,3	40,9	19,9	91,6	56,8
1987	70,8			90,9	80,3	93,3	28,4	24,6	20,8	69	92,4	63,2	63,4
1988	81,1	42,8	149	51,1	52,4	41,6	26,4	21,2	18,3	22,1	24,5	35,2	47,1
1989	301	409											
1990													
1991													
1992	173	199	91,2	82,6									
1993	169	211	91,2	82,2	61,1	59,8	36,5						
1994	532	96,3	63,6	121	189	138	66,6	46,1	40,2	97,8	90,0	142	135,2
1995	532	259	91,6	89,7	57,7	48,5	41,2	31,2	27,9	129	80,5	50,2	119,9
Q _{mm} *	196	143	106	75	88	71	45	34	35	66	115	151	
Média anual para verificação													92,0

* = Vazão média anual para cada mês

Legenda			
Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínimas	Máximas

Para se verificar a variabilidade das vazões mensais para cada mês do posto Aquidauana e posto km 21 - Miranda, extraiu-se os extremos de vazões do cadastro mensal e também em sua forma adimensional, incluindo os anos atuais para o posto Aquidauana. Os valores adimensionais (proporção de vazão) foram obtidos de duas maneiras, a primeira dividindo-se a mínima e a máxima pela vazão média de cada mês (Q_{mm}) e a segunda, dividindo-se a máxima e a mínima pela vazão média de longo período (Q_{lp}) apresentados na Tabela 5.15 e 5.16.

Tabela 5.15. Variabilidade de vazões mensais do posto Aquidauana, 1968/2002

Variabilidade mensal (m ³ /s)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Médias	186	178	162	115	109	87	66	59	64	83	111	164
Máximas	460,1	350	383	228	316	185	126	150	147	186	259	305
Mínimas	49	53	51	36	34	31	28	25	22,6	36	27	39
Variabilidade adimensional 1*												
Máximas	2,48	1,97	2,37	1,99	2,91	2,14	1,90	2,56	2,32	2,24	2,32	1,86
Mínimas	0,26	0,30	0,32	0,32	0,32	0,35	0,42	0,43	0,36	0,43	0,24	0,24
Anos Atuais												
2000	0,33	0,67	2,37	1,07	0,82	0,79	0,93	1,00	1,29	0,75	0,62	1,22
2001	0,98	1,16	1,17	1,42	1,40	0,90	1,05	1,02	1,43	1,40	2,32	1,74
2002	0,93	1,04	1,03	0,77	0,81	0,76	1,28	1,04	0,95	0,67	0,81	0,44
Variabilidade adimensional 2**												
Máximas	4,09	3,11	3,41	2,03	2,81	1,65	1,12	1,34	1,31	1,65	2,30	2,71
Mínimas	0,43	0,47	0,45	0,32	0,30	0,27	0,24	0,22	0,20	0,32	0,24	0,35
Anos Atuais												
2000	0,54	1,07	3,41	1,09	0,79	0,61	0,55	0,52	0,73	0,55	0,62	1,78
2001	1,61	1,83	1,68	1,45	1,35	0,69	0,62	0,53	0,81	1,03	2,30	2,53
2002	1,53	1,65	1,49	0,78	0,78	0,58	0,75	0,54	0,54	0,49	0,81	0,64

* = Adimensionalizado pela Q_{mm} ** = Adimensionalizado pela Q_{lp} **Tabela 5.16. Variabilidade de vazões mensais no posto km 21 – Miranda, 1969/1995**

Variabilidade mensal (m ³ /s)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Médias	196	143	106	75	88	71	45	34	35	66	115	151
Máximas	532,0	409	351	183	472	302	192	86	86	209	431	489
Mínimas	23	25	39	26	27	24	20	19	15,6	22,1	19,9	18
Variabilidade adimensional 1*												
Máximas	2,71	2,86	3,30	2,44	5,34	4,27	4,23	2,50	2,46	3,14	3,76	3,24
Mínimas	0,12	0,18	0,36	0,35	0,31	0,34	0,45	0,55	0,45	0,33	0,17	0,12
Variabilidade adimensional 2**												
Máximas	5,77	4,44	3,81	1,98	5,12	3,28	2,08	0,93	0,93	2,27	4,67	5,30
Mínimas	0,25	0,27	0,42	0,29	0,30	0,26	0,22	0,20	0,17	0,24	0,22	0,19

* = adimensionalizado pela Q_{mm} ** = adimensionalizado pela Q_{lp}

Para melhor entendimento, representou-se graficamente os valores da variabilidade mensal dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda (figura 5.8 e 5.9), e também, em suas formas adimensionais: pela vazão média de cada mês (figura 5.10) e pela vazão média de longo período (figura 5.11). Apresentou-se, também, a representação gráfica dos extremos na forma adimensional com os dois postos: pela vazão média de cada mês (figura 5.12) e pela vazão média de longo período (figura 5.13).

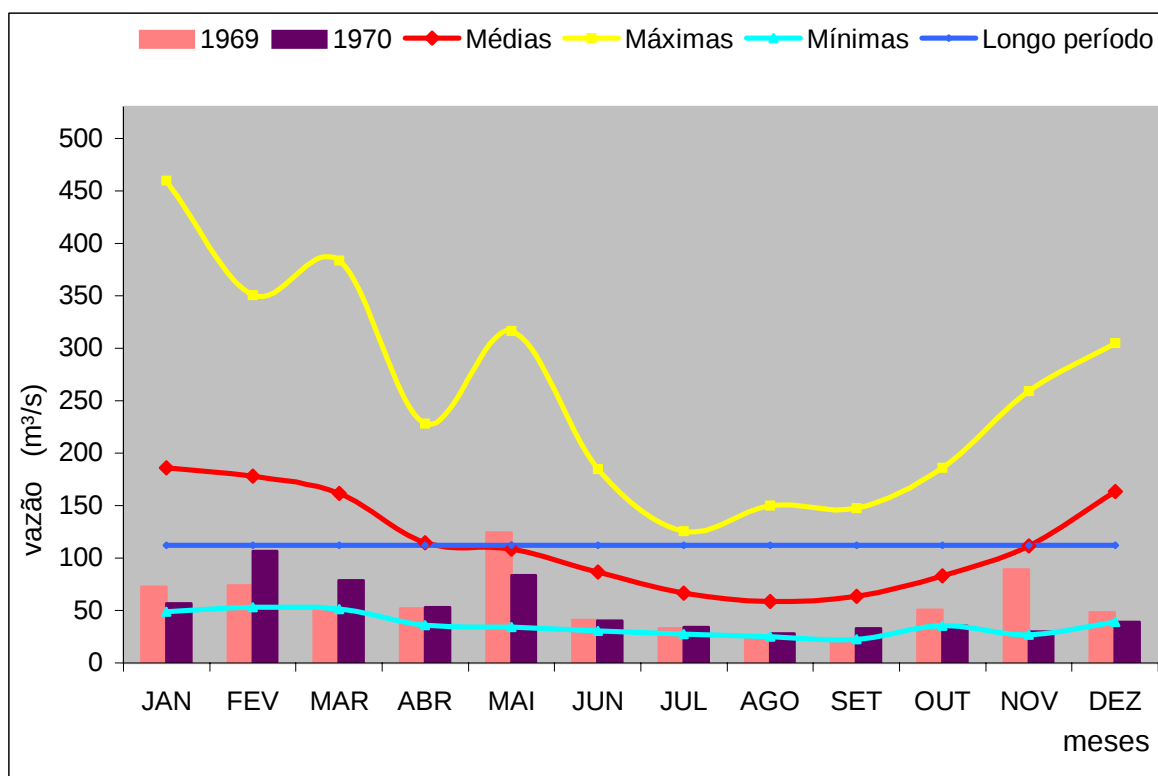


Figura 5.8. Variabilidade da vazão mensal do posto Aquidauana, período de 1968/2002 e o ano de 1970

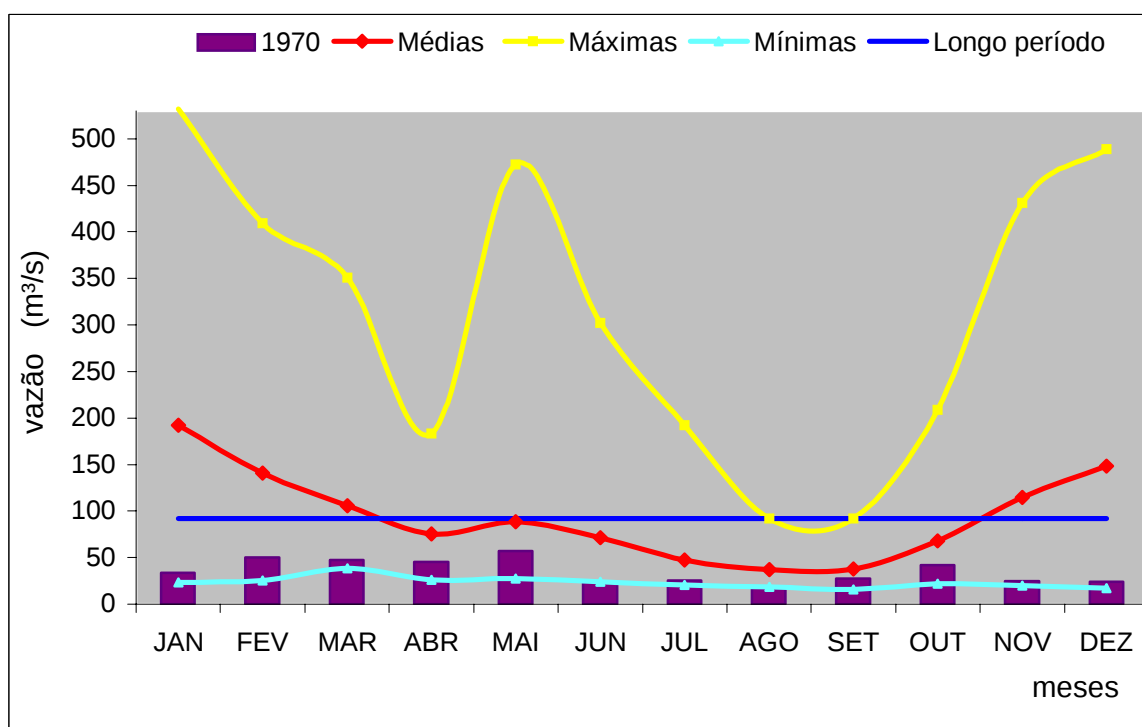


Figura 5.9. Variabilidade da vazão mensal do posto km 21 - Miranda, período de 1969/1995 e o ano de 1970

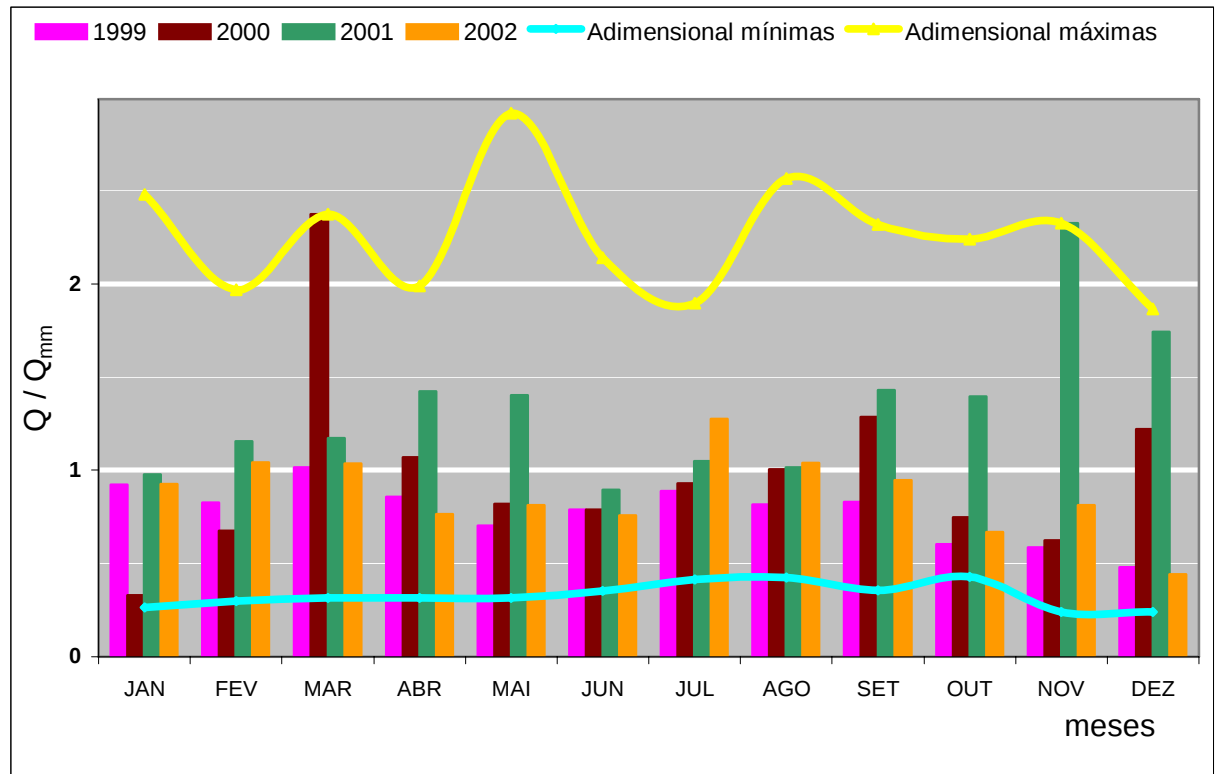


Figura 5.10. Variabilidade adimensional 1 do posto Aquidauana, 1968/2002 e anos atuais

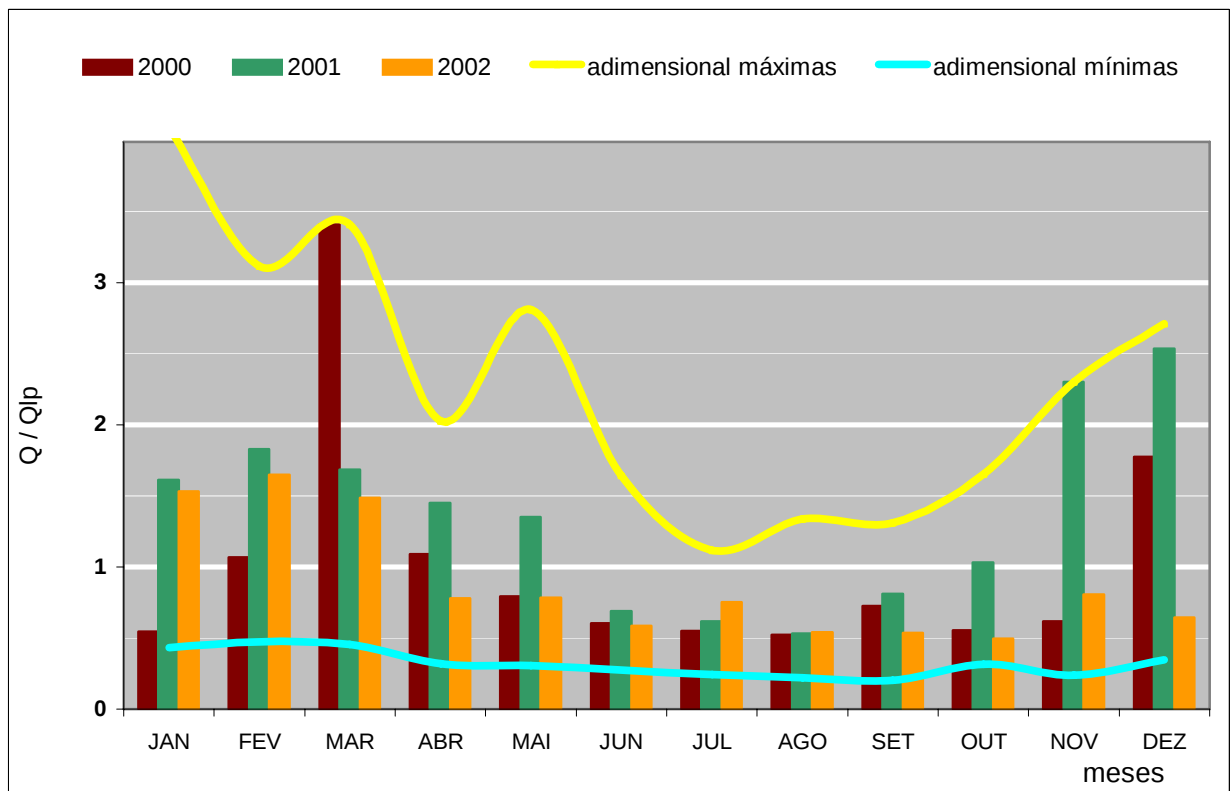


Figura 5.11. Variabilidade adimensional 2 do posto Aquidauana, 1968/2002 e anos atuais

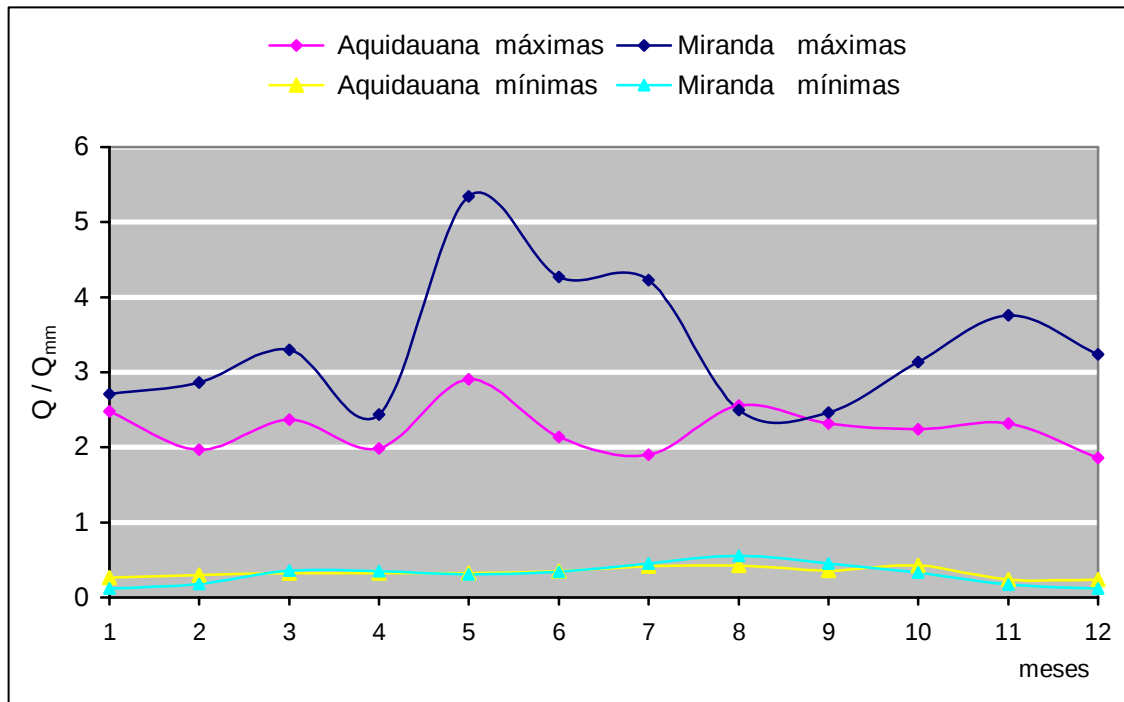


Figura 5.12. Variabilidade adimensional 1 dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda

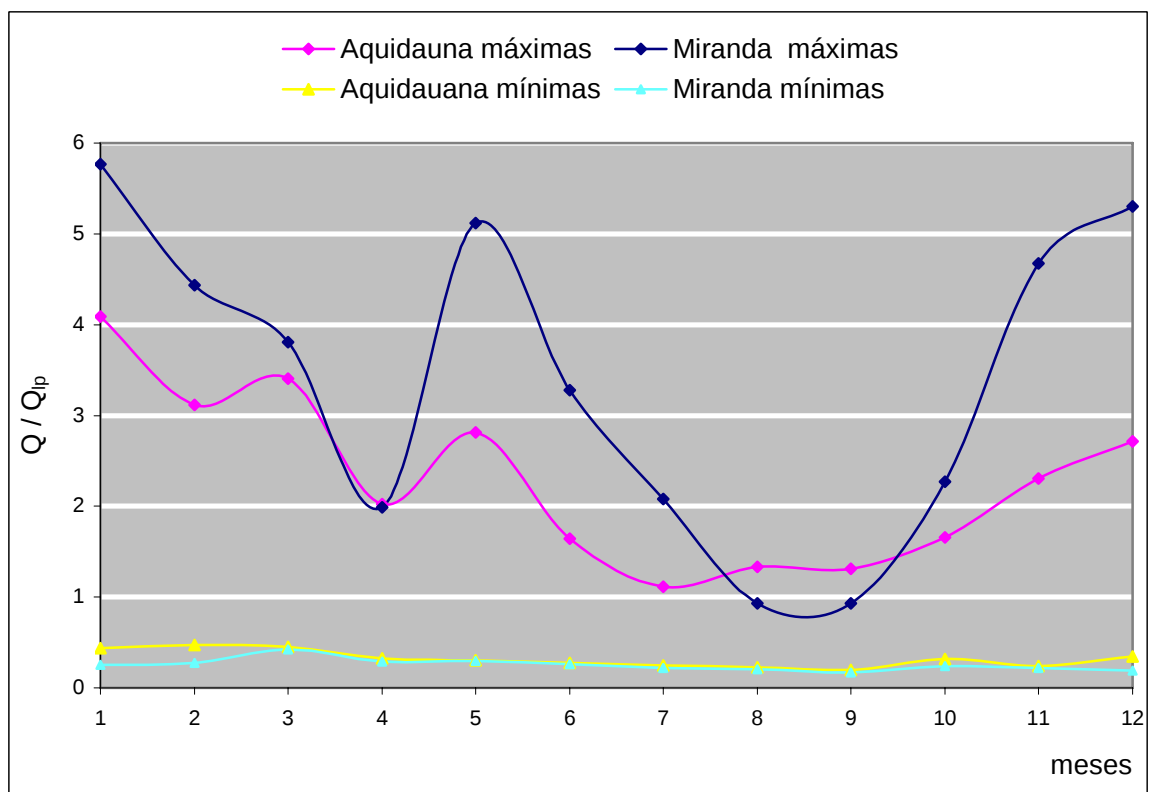


Figura 5.13. Variabilidade adimensional 2 dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda

A representação gráfica adimensional mostrou-se importante para estudos comparativos entre bacias e a adimensionalização pela vazão média de longo período, indica a semelhança entre os valores de vazões mínimas dos dois postos.

5.3. REPRESENTATIVIDADE DA SÉRIE DE DADOS

Foi verificada a representatividade da série de vazões, analisando-se as séries de vazões anuais, efetuando-se a comparação com o posto da Ponte do Grego da mesma bacia e com o posto km 21 - Miranda da bacia vizinha, apresentadas na Tabela 5.17. Desses dados verificou-se a consistência através do cálculo da evaporação, do coeficiente de escoamento e também da vazão específica dos postos, para efeito comparativo, cujos resultados foram apresentados na Tabela 5.18. Foram calculadas as médias anuais para os períodos de estiagem e cheias separadamente, verificando-se a sazonalidade interdecadal, cujos resultados estão apresentadas na Tabela 5.19. Para os anos de 1964 a 1967 verificou-se nos estudos do DNOS (1974) que todos os anos apresentaram vazões médias anuais abaixo da de longo período.

Para a Tabela 5.17 os anos com falhas, 1989, 1990, 1992, 1993 e 1998 foram preenchidos através da correlação das vazões mensais com o posto Ponte do Grego, fazendo-se a média anual de longo período com os meses preenchidos e após, transformados em sua forma adimensional, dividindo-se a média anual de cada ano pela média de longo período. Os valores em negrito, são os extremos anuais de cada posto.

Tabela 5.17. Série de vazões anuais do postos do Rio Aquidauana e Miranda (m³/s)

Anos	Posto Aquidauana		P. Ponte do Grego		Posto km 21 - Miranda		Posto Aquidauana
	Anual	Q _{ma} /Q _{lp}	Média anual	Q _{ma} /Q _{lp}	Média anual	Q _{ma} /Q _{lp}	Período 73/95
1968	50,3	0,45					Sem período crítico
1969	56,9	0,51					
1970	51,3	0,46			34,9	0,37	
1971	49,1	0,44			39	0,42	
1972	85,0	0,76			88,7	0,95	
1973	98,8	0,88			66,7	0,71	98,8
1974	141,8	1,26			125	1,34	141,8
1975	123,4	1,10			64	0,68	123,4
1976	159,3	1,42			122	1,30	159,3
1977	167,4	1,49			93,8	1,00	167,4
1978	138,4	1,23			66,2	0,71	138,4
1979	133,2	1,19			96,6	1,03	133,2
1980	159,5	1,42			95,6	1,02	159,5
1981	150,7	1,34			61,1	0,65	150,7
1982	179	1,59	117,4	1,49	182	1,95	179
1983	158,3	1,41	101,9	1,29	216	2,31	158,3
1984	93,8	0,83	81,6	1,03	99,2	1,06	93,8
1985	69,7	0,62	60,1	0,76	57,4	0,61	69,7
1986	76,2	0,68	53,3	0,67	56,8	0,61	76,2
1987	107	0,95					107,0
1988	87,3	0,78	79,5	1,01	47,1	0,50	87,3
1989		1,47	91	1,15			
1990		1,18	84,3	1,07			
1991	133,0	1,18					133,0
1992		1,49	80,9	1,02			
1993		1,14	61,7	0,78			
1994	97	0,86	63,4	0,80	139,3	1,49	97
1995	113,4	1,01	72,6	0,92	120	1,28	113,4
1996	105,0	0,93					105,0
1997	130,3	1,16					130,3
1998		1,06					
1999	89,6	0,80					89,6
2000	115,4	1,03					115,4
2001	153,8	1,37					153,8
2002	98,7	0,88					98,7
longo período Q _{lp}	112,5	30 anos	79,0	12 anos	92,2	20 anos	124,7
Q _{lp} em mm	233,3		509,3		263,5		
Na série pluviométrica em banco de dados obteve-se as precipitações médias anuais de longo período:							
Precipitação (P) (mm)	1402		1507		1334		

Legenda

Não aproveitado	Falhas e aproveitado	Mínimas	Máximas
-----------------	----------------------	---------	---------

Tabela 5.18. Análise de consistência dos postos do Rio Aquidauana e Miranda, 1968/2002.

Evaporação	Posto Aquidauana	Posto Ponte do Grego	Posto km 21 - Miranda
$E = P - Q_{lp}$	1169	998	941
Coefficiente de escoamento:			
$C = Q_{lp} / P$	0,17	0,36	0,20
Vazão específica			
Área em km ²	15.200	4.890	11.820
L/s.km ²	7,4	16,2	7,8

Tabela 5.19. Médias interdecadais para os períodos de estiagem e cheias do posto Aquidauana

Médias anuais	Período	m³/s	Tempo	Adimensional
Todas abaixo*	1964 / 1967	DNOS (1974)	4 anos	
Todas abaixo	1968 / 1973	58,5	6 anos	0,5
Todas acima**	1974 / 1983	146,4	10 anos	1,3
Todas abaixo	1984 / 1988	86,8	5 anos	0,77
Todas acima	Falhas 89/93	114,9	5 anos	1,3
Alternadas***	1994 / 2002	112,9	8 anos	1,0
			38 anos	

* = valores de vazão média anual, de cada ano, abaixo da média de longo período.

** = valores de vazão média anual, de cada ano, acima da média de longo período.

*** = valores de vazão média anual variando em torno da média alternadamente.

Com os dados da Tabela 5.17 construiu-se outra (Tabela 5.20) que refere-se à variabilidade das vazões, com e sem o período crítico, para efeitos comparativos. A intenção foi verificar se as diferenças entre os valores obtidos são expressivas.

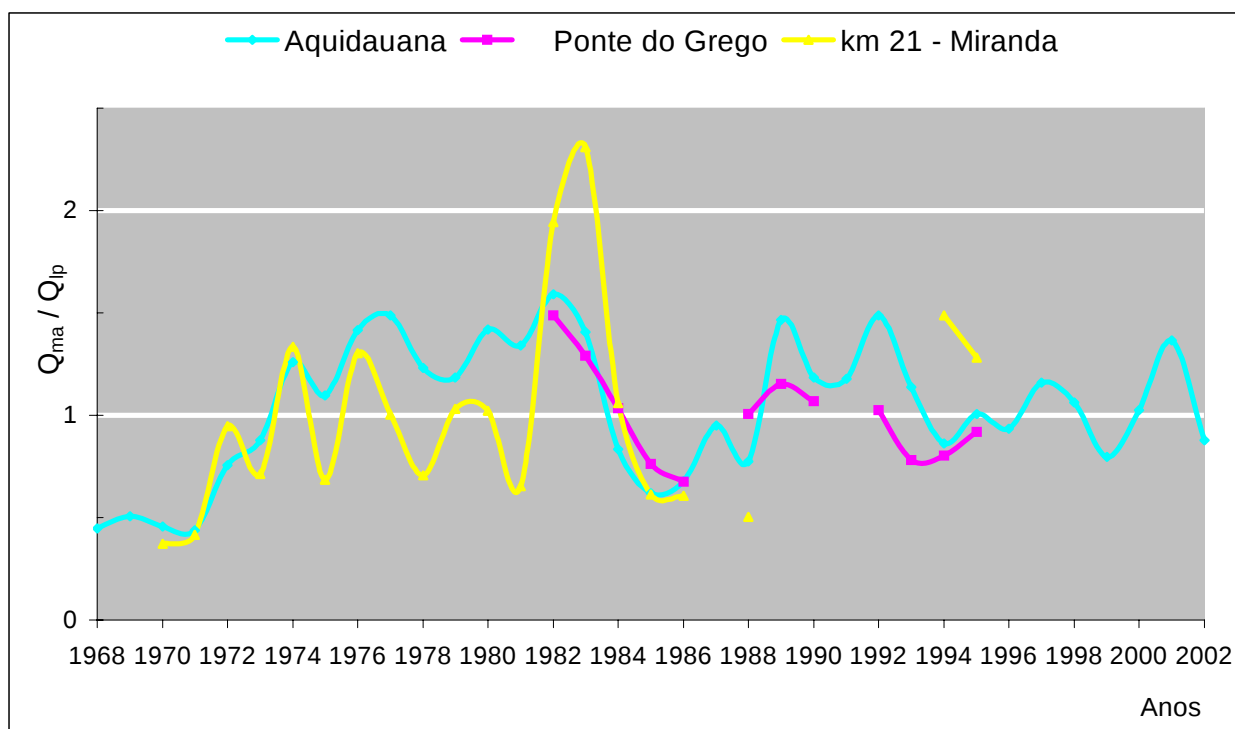
Tabela 5.20. Comparação da representatividade das vazões em m³/s do posto Aquidauana

Com período crítico 1968 / 2002					Sem o período crítico 1973 / 2002				
Vazões	Diária	Mensal	Anual	7 dias	Vazões	Diária	Mensal	Anual	7 dias
Máximas	691,4	460,1	179		Máximas	691,4	383,5	179	
Mínimas	16,8	22,6	49,1	20,1	Mínimas	24,5	32,2	69,7	27,7
Longo período			112,5		Longo período			124,7	

Com a comparação dos valores de vazões mínimas, em negrito, entre os dois períodos, verificou-se que as diferenças são expressivas. Para as vazões sem o período crítico, a mínima diária é maior 46%, a de 7 dias 38% e mensal 42%. Observou-se que para as vazões médias de longo período, a diferença é de apenas 11%, mostrando que, para a série de vazões anuais, mesmo fora do período crítico, não há grande variação.

Para confirmar a representatividade dos postos escolhidos ao longo do período de dados e a confirmação do período crítico de estiagem, selecionou-se postos da própria bacia e bacias vizinhas, construindo-se um gráfico representativo na sua forma adimensional (figura 5.14) cujos dados foram provenientes da Tabela 5.17.

Figura 5.14. Vazão anual adimensional dos postos do Rio Aquidauana e Miranda.



Para confirmação do período crítico de estiagem nos anos anteriores ao do período de dados, foi feita uma comparação com o estudo realizado para o Rio Paraguai no posto de Ladário, que possui dados desde 1900. Concluiu-se que o período crítico do Rio Aquidauana é o mesmo de Ladário, isto é, 1964 a 1971. O período é representativo da estiagem mais severa para as bacias em estudo.

5.5. FREQUÊNCIA

Para a frequência foram consideradas as recomendações referenciadas no item 3.5.1. Foi verificado que os valores de vazões mínimas não são totalmente independentes, pois a vazão mínima que ocorre num ano é ligada à que ocorre nos anos anteriores, fazendo parte de um ciclo maior de estiagem. A representatividade já foi verificada no item anterior. Não foram verificadas as características estatísticas que representam a estacionariedade da série, pois o estudo não está relacionado com o conhecimento das modificações da bacia hidrográfica.

Um resumo dos cálculos do tempo de retorno realizados conforme item 4.6, são mostrados na Tabela 5.22, cujos valores em negritos são aqueles selecionados para o estudo e os resultados selecionados são apresentados na Tabela 5.23.

Tabela 5.22. Cálculo do tempo de retorno para vazões mínimas de diversas durações (m³/s)

Posto Aquidauana						Posto km 21 Miranda				
nº de ordem i	Diária	7 dias	Mensal	F	T	Diária	7 dias	Mensal	F=i/(N+1)	T=1/F
1	16,8	20,1	22,6	0,03	32	11	12,3	15,6	0,045	22
2	21,5	23,5	26,7	0,06	16,0	13,6	14,2	17,5	0,09	11
3	22	23,7	27,8	0,09	11	14,2	14,6	18,3	0,14	7
4	23,1	24,0	29,1	0,12	8,0	14,2	14,8	18,7	0,18	5,5
5	24,5	27,3	32,2	0,16	6,4	14,8	15,1	19,9	0,23	4,4
6	25,5	27,6	35,4	0,19	5	14,8	15,8	20,8	0,27	4
7	27,3	27,9	35,8	0,22	4,6	15,3	16,2	21,5	0,32	3,1
8	30,0	34,1	36,9	0,25	4,0	15,5	17,3	21,6	0,36	2,8
9	30,5	34,3	39,4	0,28	3,6	16,9	17,5	21,8	0,41	2,4
10	32,5	36,8	40,9	0,31	3,2	17,4	17,8	22,2	0,45	2,2
11	33,0	39,7	44,5	0,34	2,9	17,9	20,7	25,6	0,50	2
12	34,6	41,2	47,7	0,37	2,7	19,5	20,7	26,1	0,54	1,8
13	38,8	43,8	47,8	0,41	2,5	20,5	20,9	26,9	0,59	1,7
14	40,0	44,4	48,3	0,44	2,3	20,9	23,2	27,7	0,64	1,6
15	40,0	46,0	51,2	0,47	2,1	22,1	24,8	27,9	0,68	1,5
16	44,8	46,0	54,3	0,50	2	22,3	24,9	28,6	0,73	1
17	45,2	46,4	54,6	0,53	1,9	25,9	27,1	28,8	0,77	1,3
18	46,0	49,6	55,6	0,56	1,8	27,3	31	36,9	0,82	1,2
19	46,6	49,8	56,0	0,59	1,7	29,7	31,5	40,2	0,86	1,2
20	47,8	50,2	57,0	0,62	1,6	30,3	32,1	50,2	0,91	1,1
21	48,4	52,6	58,1	0,66	1,5					
Vazões máximas das mínimas										
31	75,4	75,7	84,0	0,96	N = 31	45,1	50,6	66,9	0,95	N = 21

Tabela 5.23. Indicadores e índice de vazão selecionados para o estudo, 1968/2002

Indicadores: m ³ /s	Posto Aquidauana	Posto km 21 – Miranda
Extremos das mínimas de 7 dias	20,1 a 75,7	12,3 a 50,6
$7Q_2$	46,0	20,7
$7Q_{10}$	23,7	14,2
Vazão específica, $7Q_{10}$ em L/s.km ²	1,3	1,2
Índice:		
$7Q_{10}/Q_{lp} =$	0,21	0,15

5.6. PERMANÊNCIA

Primeiramente foi calculada a permanência considerando-se a duração mensal, para todo o período do posto Aquidauana, conforme resultados da Tabela 5.24, contendo as permanências de interesse para o estudo em negrito e seguiu-se a mesma metodologia para o posto km 21 – Miranda, que não foi apresentado. Um resumo dos resultados são apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.24. Cálculo da permanência mensal do posto Aquidauana, 1968/2002 (m³/s)

Data	Média	Nº de ordem <i>i</i>	Média em ordem crescente	Permanência mensal (%)
Fev-68	84,3	1	22,6	99,7
Mar-68	51,0	2	25,0	99,5
Abr-68	37,2	3	26,7	99,2
Mai-68	46,6	4	27,6	99,0
Jun-68	30,7	5	27,8	98,7
Jul-68	27,6	6	29,1	98,4
Ago-68	30,9	7	30,1	98,2
Set-68	30,2	8	30,2	97,9
Out-68	40,4	9	30,7	97,6
Nov-68	26,7	10	30,9	97,4
Dez-68	82,3	11	32,2	97,1
Jan-69	72,8	12	32,6	96,9
Fev-69	73,5	13	33,0	96,6
Mar-69	51,1	14	34,0	96,3
Abr-69	51,8	15	34,1	96,1
Mai-69	124,7	16	34,2	95,8
Jun-69	40,9	17	35,4	95,5
Jul-69	32,6	18	35,6	95,3
Ago-69	25,0	19	35,8	95,0
...				
Mar-71	66,1	38	42,3	90,0
...				
Nov-83	115,2	190	91,6	50,0
...				
Set-99	52,8	N = 380	460,1	0,3

Tabela 5.25. Permanências mensais dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda (m³/s)

Indicadores de vazão	Posto Aquidauana	Posto km 21 - Miranda
	Período 1968/2002	Período 1969/1995
Q ₅₀	91,6	60,3
Q ₉₀	42,3	25,3
Q ₉₅	35,8	21,8
Índices		
Q ₉₅ / Q _{lp} *	0,32	0,24
Q ₉₀ / Q ₅₀ *	0,46	0,42

* = Contribuição da vazão subterrânea, descarga do aquífero.

Para melhor entendimento, fez-se a representação gráfica da curva de permanência dos dois postos, Figura 5.15, para todo o período analisado.

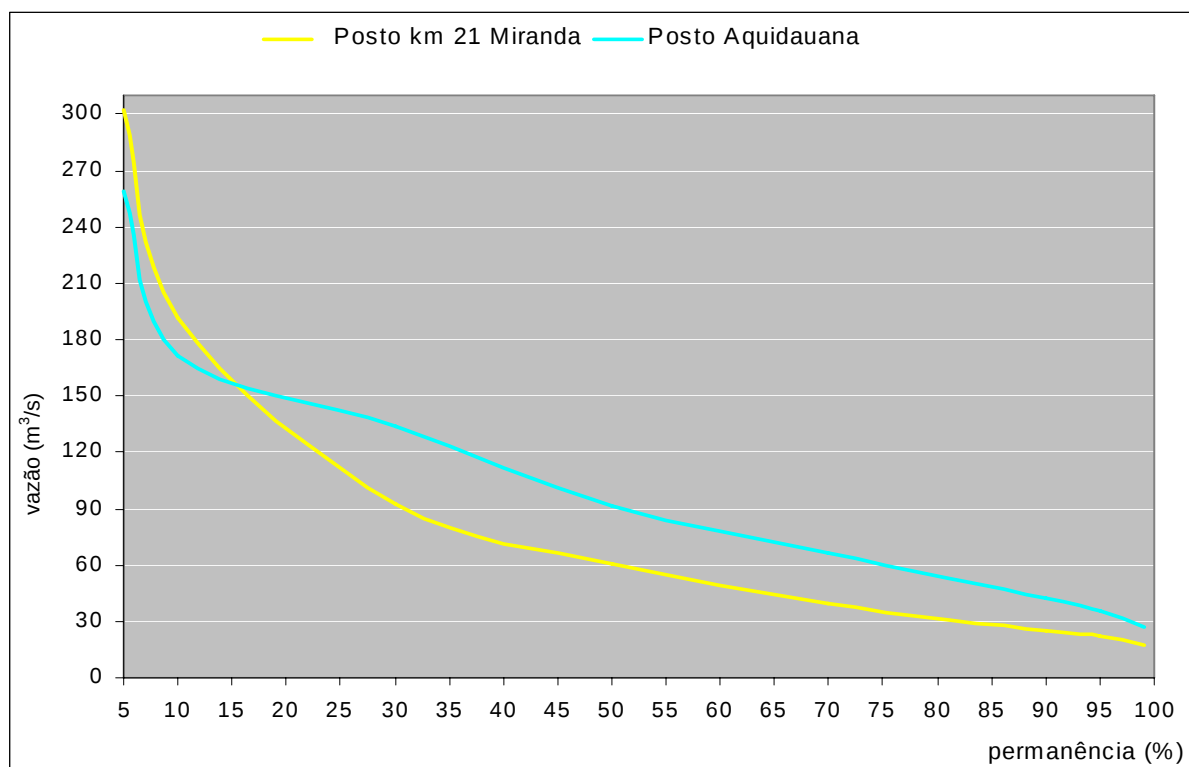


Figura 5.15. Curva de permanência mensal dos postos Aquidauana e km 21 – Miranda, 1968/2002

Foram calculadas, também, as permanências considerando individualmente os valores de cada mês do período analisado, por exemplo, a Q_{95} para todo o mês de janeiro e assim sucessivamente, calculados pela fórmula de plotação utilizada no estudo. Para o exemplo da Tabela 5.26, foi utilizado dados do posto Aquidauana.

Estes cálculos resultaram nos indicadores e índices selecionados, para o posto Aquidauana (Tabela 5.27) e o para o posto km 21 – Miranda (Tabela 5.28). Verificou-se que no mês de maio a contribuição do escoamento subterrâneo no total da vazão do rio foi alto, pois o aquífero nesse período encontra-se, geralmente, com sua reserva máxima. Nos meses de estiagem, julho a outubro, a contribuição da vazão subterrânea também é alta, devido à seca desse período.

Tabela 5.26. Permanência para cada mês do posto Aquidauana, 1968/2002

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Ordem i	PERMANÊNCIA
48,8	53,2	51,0	36,2	34,2	30,7	27,6	25,0	22,6	35,6	26,7	39,2	1	97,2
49,8	73,5	51,1	37,2	46,6	39,4	32,6	27,8	29,1	35,8	30,1	42,3	2	94,4
56,7	81,8	66,1	51,8	53,5	40,5	34,1	30,9	30,2	36,9	47,8	48,2	3	91,7
61,1	84,3	76,5	53,2	56,3	40,9	39,0	34,0	32,2	40,4	50,7	72,3	4	89
72,8	106,7	78,9	53,6	62,2	41,4	40,5	40,8	33,0	42,3	50,9	78,5	5	86,1
78,7	107,5	86,5	55,1	74,6	46,1	47,9	42,1	35,4	46,3	55,9	82,3	6	83,3
95,7	118,6	99,3	81,4	76,1	48,3	48,0	42,2	36,4	48,7	65,5	84,1	7	80,6
103,4	120,0	104,6	83,5	81,6	51,5	48,3	42,2	40,9	50,2	69,4	91,6	8	77,8
108,0	122,0	112,4	87,7	82,2	61,9	50,5	46,5	44,5	50,9	76,9	92,4	9	75,0
112,3	134,2	115,6	94,9	83,6	65,3	51,8	47,8	47,7	55,6	80,0	97,5	10	72,2
128,9	142,9	122,6	97,3	86,5	65,6	58,9	48,1	48,0	61,2	81,1	106,2	11	69,4
142,6	146,0	123,5	98,3	86,9	68,1	59,8	51,2	48,3	62,2	82,4	108,3	12	66,7
149,0	146,4	123,9	102,7	87,4	68,3	61,7	54,2	52,8	62,6	83,5	109,3	13	63,9
149,3	146,7	131,9	108,2	88,0	70,7	62,6	54,3	53,3	66,6	89,1	134,2	14	61,1
163,3	148,8	143,1	111,1	89,0	71,1	63,3	56,0	54,6	74,2	90,6	148,5	15	58,3
171,2	164,3	145,5	111,7	91,8	75,1	64,8	56,0	57,0	76,3	94,2	171,9	16	55,6
172,1	171,0	157,8	120,8	92,6	77,6	67,4	57,7	58,1	86,4	94,8	174,5	17	52,8
181,3	181,4	158,4	121,4	95,0	79,6	69,5	58,9	60,2	90,8	95,8	175,2	18	50
183,0	185,4	164,2	122,7	95,9	82,7	70,0	59,6	63,7	93,3	111,7	196,2	19	47,2
183,4	200,2	167,1	125,8	107,9	88,3	70,9	60,1	69,1	95,8	115,2	199,8	20	44,4
187,2	200,4	167,3	126,0	116,1	90,3	72,2	60,9	70,5	101,4	150,4	216,1	21	41,7
188,0	205,5	179,0	127,2	117,6	96,8	73,7	60,9	75,0	102,1	150,9	226,8	22	38,9
196,3	206,0	189,4	128,1	122,7	97,8	74,9	63,5	77,8	103,7	159,0	246,7	23	36,1
222,2	220,0	194,1	137,2	124,7	104,2	79,2	66,0	80,7	114,4	162,9	251,3	24	33,3
232,5	221,0	201,7	138,1	125,0	108,9	79,9	66,2	81,7	116,1	172,3	259,3	25	30,6
288,8	234,4	203,2	145,0	138,5	111,6	80,1	67,6	91,0	116,9	173,1	272,4	26	27,8
330,4	241,5	209,3	163,0	139,7	118,6	84,6	72,4	91,0	122,7	190,0	285,0	27	25,0
331,0	247,1	226,6	171,2	152,1	122,1	86,8	74,6	107,1	123,9	193,1	295,7	28	22,2
333,8	250,3	245,2	172,1	156,9	141,4	88,5	84,0	110,0	132,7	240,9	296,8	29	19,4
379,5	251,0	316,3	183,5	184,0	142,1	88,7	87,1	122,0	146,4	259,1	305,0	30	16,7
382,4	251,8	377,8	195,1	208,0	157,3	89,6	87,6	147,5	186,2			31	13,9
460,1	258,4	383,5	227,9	316,4	166,5	94,3	150,3					32	11,1
	275,4				185,1	125,7						33	8,3
	350,4											34	5,6
												35	2,8

Tabela 5.27. Permanência para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002

Indicadores (m ³ /s)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Q ₅₀	181,3	181,4	158,4	121,4	95,0	79,6	69,5	58,9	60,2	90,8	95,8	175,2
Q ₉₀	61,1	84,3	76,5	53,2	56,3	40,9	39,0	34,0	32,2	40,4	50,7	72,3
Q ₉₅	49,8	73,5	51,1	37,2	46,6	39,4	32,6	27,8	29,1	35,8	30,1	42,3
Índice												
Q ₉₀ /Q ₅₀ *	0,34	0,46	0,48	0,44	0,59	0,51	0,56	0,58	0,53	0,44	0,53	0,41

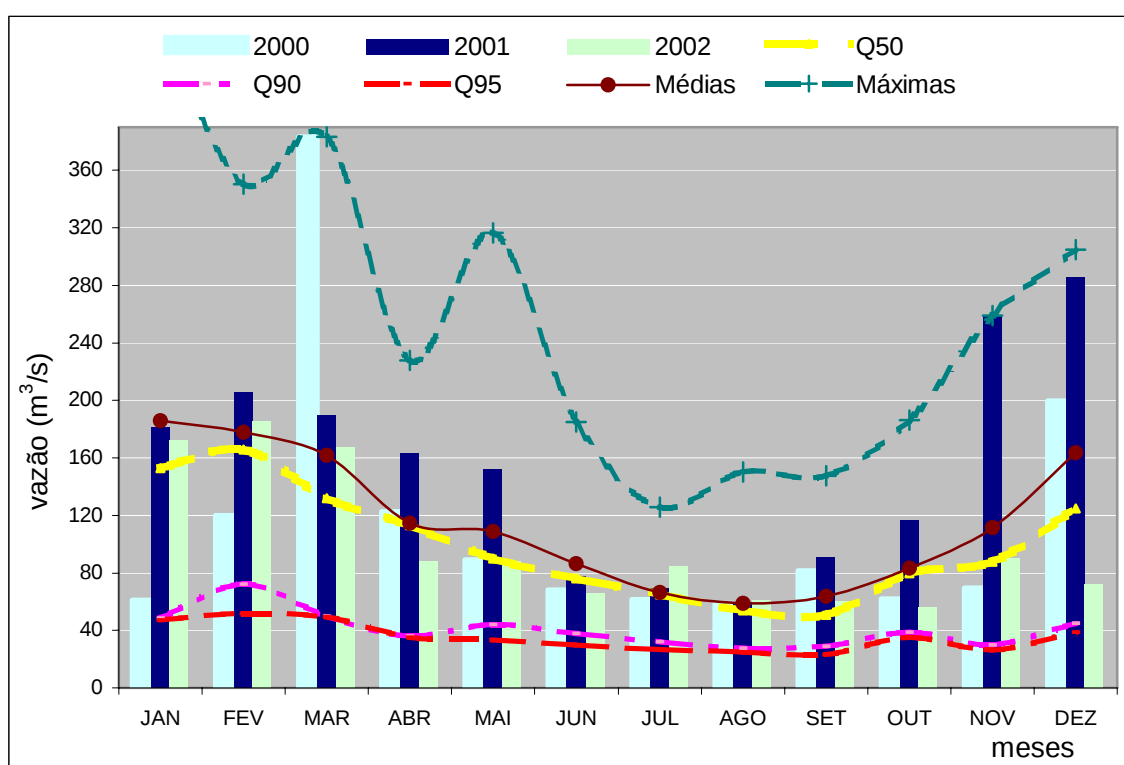
* = contribuição para cada mês da vazão subterrânea no total do rio.

Tabela 5.28. Permanência para cada mês do posto km 21-Miranda no período 1969/1995

Indicadores (m ³ /s)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Q ₅₀	109	120	74,7	73,7	57,7	42,9	33,3	31,2	29,9	51	92,4	142
Q ₉₀	33,5	41,9	40,4	29,1	30,7	26,1	21,5	19,2	18,3	27,7	24,5	23,9
Q ₉₅	23,2	25,1	38,7	26,4	27,3	23,9	20,4	18,7	15,6	22,1	19,9	17,5
Índice												
Q ₉₀ /Q ₅₀ *	0,31	0,35	0,54	0,39	0,53	0,61	0,65	0,62	0,61	0,54	0,27	0,17

* = contribuição para cada mês da vazão subterrânea no total do rio.

Para melhor entendimento, fez-se a representação gráfica, Figura 5.16, comparando-se as permanências de cada mês, de interesse do estudo, entre os postos Aquidauana e km 21 - Miranda.

**Figura 5.16. Curva de permanência para cada mês do posto Aquidauana e km 21 - Miranda**

São apresentados a seguir, as permanências de cada mês para o período crítico de estiagem e dos anos atuais, com as permanências de interesse do estudo Q₅₀, Q₉₀ e Q₉₅ (figuras 5.17 e 5.18).

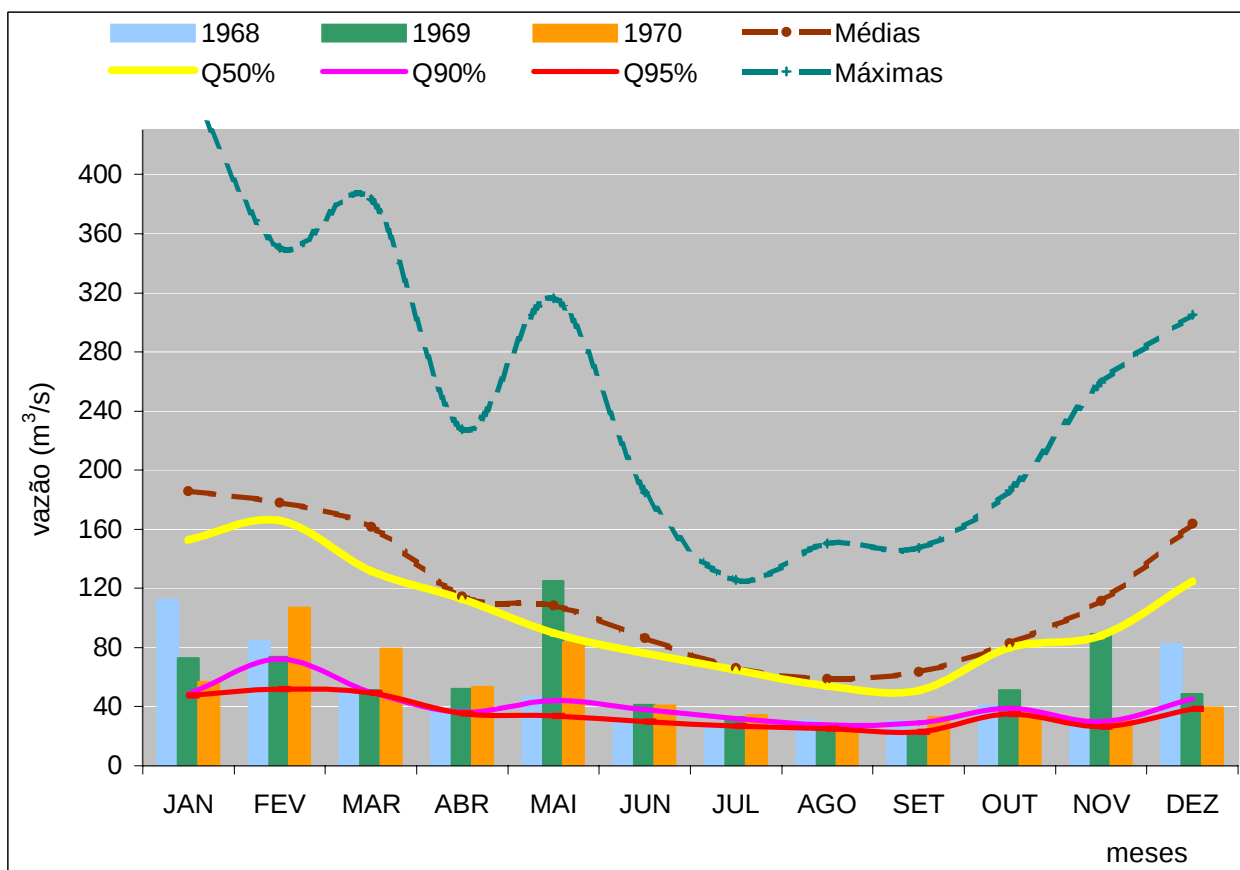


Figura 5.17. Curvas de permanências para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002 e os anos de 1968/1970

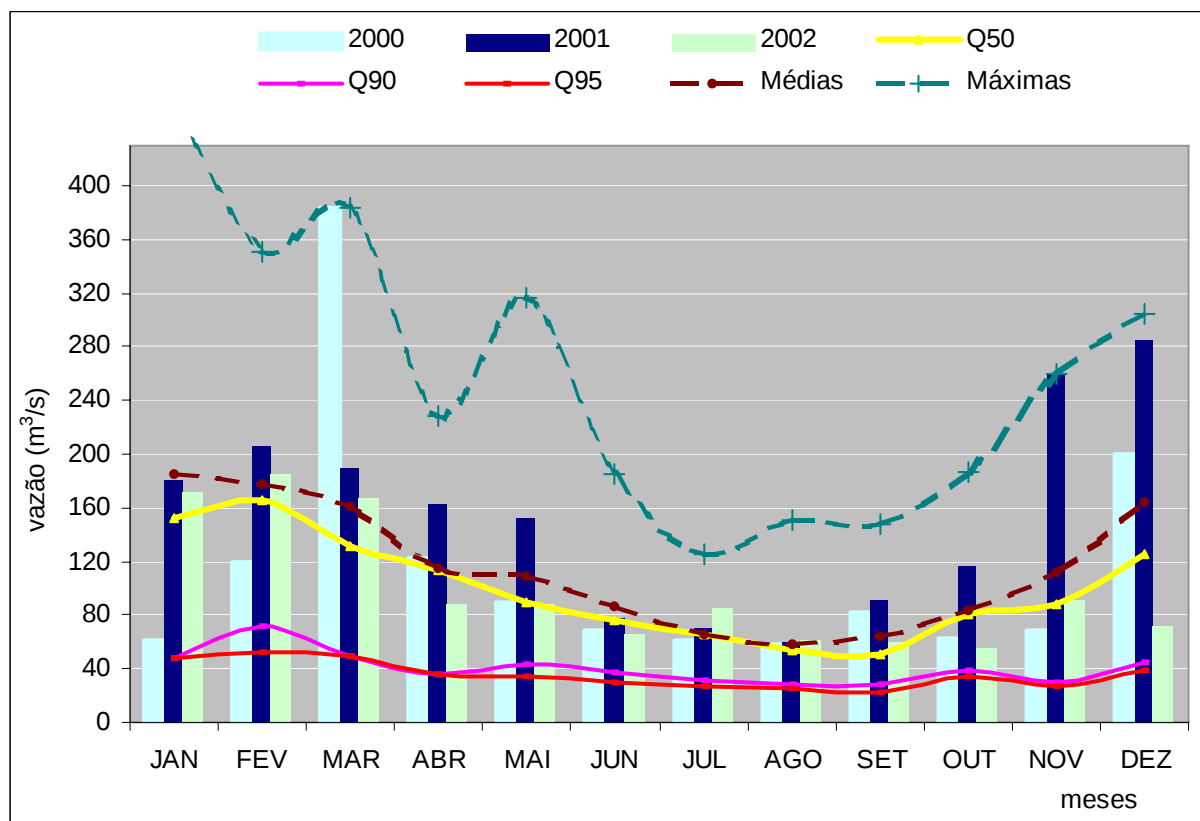


Figura 5.18. Curvas de permanências para cada mês do posto Aquidauana no período 1968/2002 e anos 2000/2002

A seguir, calculou-se as permanências com duração diária para cada ano selecionado, apresentados na Tabela 5.29.

Tabela 5.29. Resumo das permanências de cada ano do posto Aquidauana (m^3/s)

Permanências diárias dos anos de interesse do estudo												
Posto Aquidauana	1968	1969	1970	1971	1985	1986	1995	1997	1999	2000	2001	2002
Indicadores (m^3/s)												
Q_{50}	33,7	42,8	38,3	38,8	57,2	59,2	87,3	90	66,1	75,2	148	73,8
Q_{90}	26	24,4	26	28,2	35,4	35,4	50,3	55	46,0	55,0	55,3	55
Q_{95}	25	23,4	24,8	26	30,9	32	45,5	52	43,6	52,9	51,4	53,2
Índices												
Q_{95}/Q_{ma}	0,50	0,42	0,49	0,54	0,42	0,40	0,39	0,41	0,49	0,46	0,33	0,54
Q_{90}/Q_{50}^*	0,77	0,57	0,68	0,73	0,62	0,60	0,58	0,61	0,70	0,73	0,37	0,75

* = contribuição para cada mês da vazão subterrânea

Observa-se que, para alguns anos, segundo os índices obtidos, a contribuição do escoamento subterrâneo, corresponde a mais da metade no total da vazão do rio.

Para verificar a perda de informação ao adotar a permanência mensal de todo período, ao invés da diária para cada ano, fez-se a representação gráfica comparando os dois tipos de permanência (figura 5.19), mostrando que a perda de informação é maior para as permanências de cheias e menor para as permanências de estiagem.

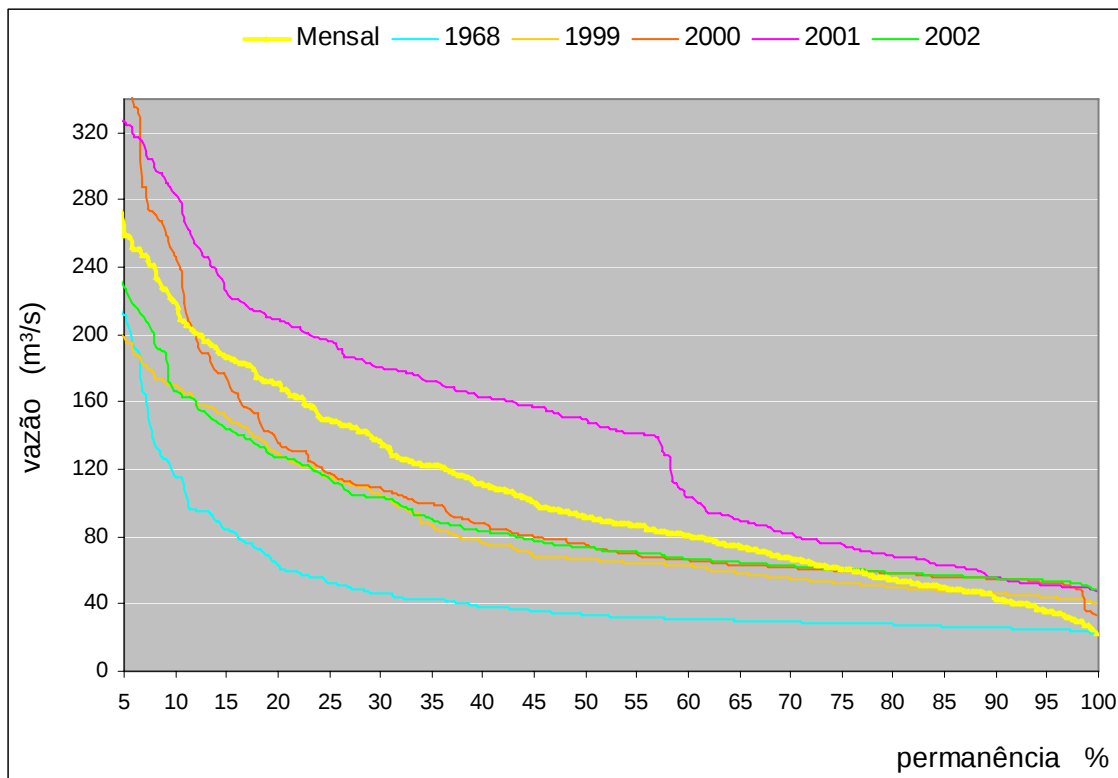


Figura 5.19. Comparativo entre a permanências mensal e diárias do posto Aquidauana

5.7. DEPLEÇÃO

O método baseou-se na estimativa do comportamento da bacia na estiagem. Selecionou-se os dados referentes às vazões diárias de cada ano, considerando o período crítico mais representativo para cada evento (Tabela 5.30 para o posto Aquidauana e 5.31 para o posto km 21 - Miranda).

Tabela 5.30. Depleção diária para o posto Aquidauana

Eventos		Equação da depleção diária		
Anos	Período evento	Dias	$Q=Q_0 \cdot e^{-1/Kb \cdot t}$	Coefficiente de determinação R^2
1) 1968	01/07 a 04/08	35	$29,66 \cdot \text{Exp}(-0,0049 \cdot \text{dias})$	0,94
2) 1969	12/07 a 10/09	61	$32,1 \cdot \text{Exp}(-0,0065 \cdot \text{dias})$	0,83
3) 1969	18/07 a 24/08	37	$29,8 \cdot \text{Exp}(-0,0062 \cdot \text{dias})$	0,93
4) 1970	16/07 a 25/08	40	$31,5 \cdot \text{Exp}(-0,0066 \cdot \text{dias})$	0,90
5) 1970	19/07 a 17/08	29	$30,6 \cdot \text{Exp}(-0,0067 \cdot \text{dias})$	0,93
6) 1971	13/08 a 07/09	26	$33,5 \cdot \text{Exp}(-0,011 \cdot \text{dias})$	0,70
7) 1985	13/08 a 31/08	19	$44,45 \cdot \text{Exp}(-0,0107 \cdot \text{dias})$	0,94
8) 1986	12/09 a 25/09	14	$37,69 \cdot \text{Exp}(-0,0083 \cdot \text{dias})$	0,762
9) 1994	15/07 a 14/08	31	$57,5 \cdot \text{Exp}(-0,0049 \cdot \text{dias})$	0,83
10) 1995	14/07 a 11/09	60	$62,45 \cdot \text{Exp}(-0,006 \cdot \text{dias})$	0,9

Tabela 5.31. Depleção diária para o posto km 21 Miranda

Eventos:			Equação da depleção diária	
Anos	Período evento	Dias	$Q=Q_0 \cdot e^{-1/Kb \cdot t}$	Coefficiente de determinação R^2
1) 1970	22/07 a 26/08	36	$19,32 \cdot \text{Exp}(-0,006 \cdot \text{dias})$	0,85
2) 1971	11/08 a 22/09	42	$25,65 \cdot \text{Exp}(-0,0104 \cdot \text{dias})$	0,77
3) 1979	05/06 a 05/07	30	$37,67 \cdot \text{Exp}(-0,0109 \cdot \text{dias})$	0,96
4) 1981	21/08 a 22/09	32	$18,37 \cdot \text{Exp}(-0,0075 \cdot \text{dias})$	0,93
5) 1985	08/08 a 30/08	25	$28,92 \cdot \text{Exp}(-0,0082 \cdot \text{dias})$	0,94

Após, construiu-se os gráficos contendo todos os eventos selecionados, adicionando-se a estes a equação que melhor se ajusta aos dados e o valor do coeficiente de determinação (R^2) e mostrou-se apenas alguns desses eventos (figura 5.20 para o posto Aquidauana e 5.21 para o posto km 21 - Miranda).

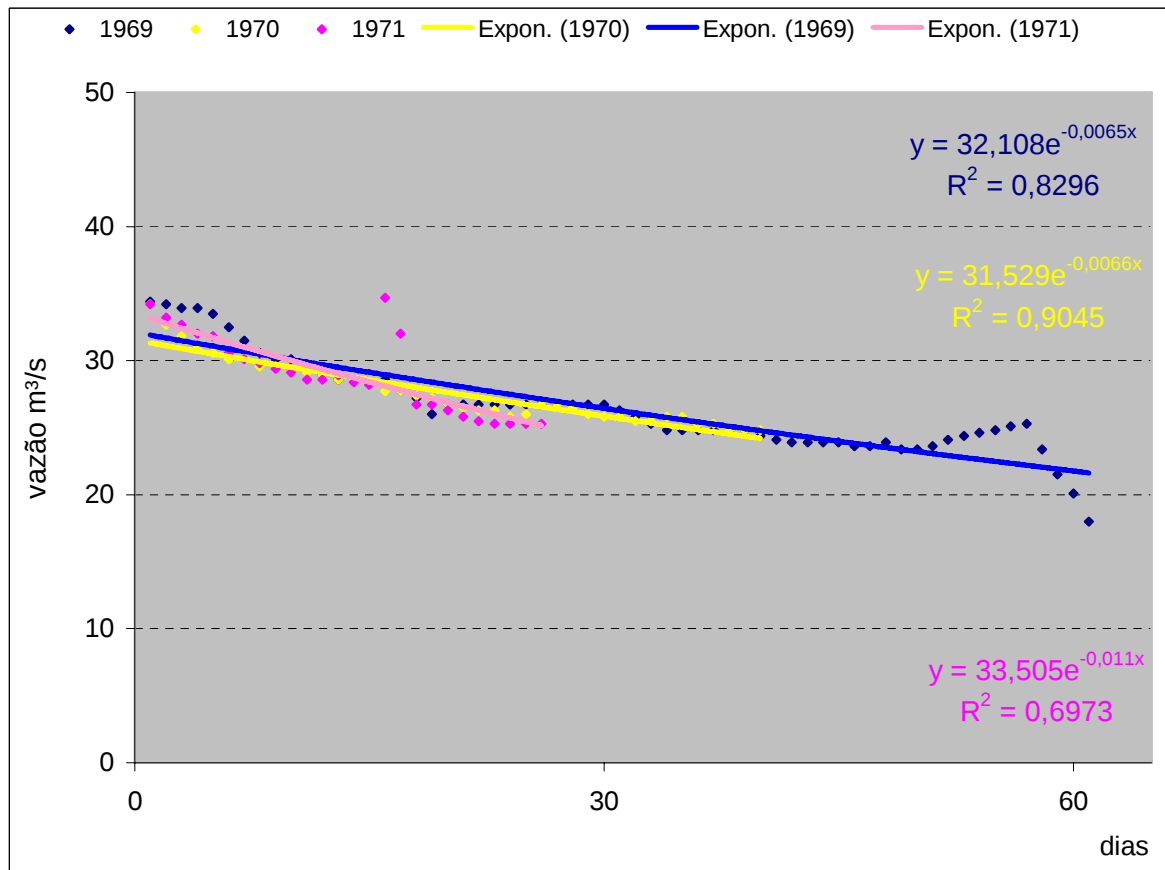


Figura 5.20. Depleção diária para o posto Aquidauana

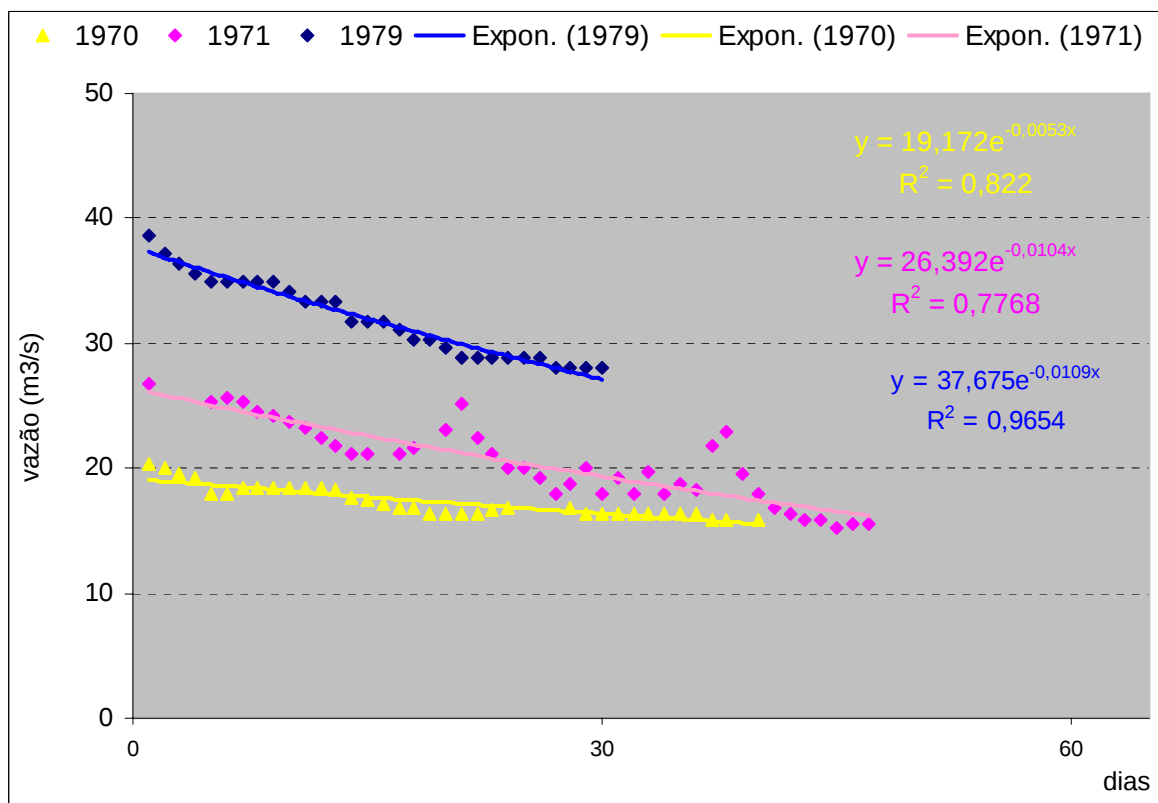


Figura 5.21. Depleção diária para o posto km 21 - Miranda

Finalmente, mostra-se na Tabela 5.31 a variação da constante de recessão (K_b) para os postos Aquidauana e km 21 – Miranda, calculados conforme descrito no item 4.8 e selecionados aqueles que possuem maior coeficiente de determinação.

Tabela 5.31. Constante de recessão dos postos Aquidauana e km 21 - Miranda

Posto Aquidauana		Posto km 21 Miranda	
α	$K_b = 1/\alpha$	α	$K_b = 1/\alpha$
0,0049	204	0,006	167
0,006	167	0,008	122
0,0062	161	0,0104	96
0,0065	154	0,0109	92
0,0066	152	0,0075	133
0,0067	149		
K_b médio	164	K_b médio	122

* A constante de recessão é o inverso do coeficiente de depleção α

Para concluir, mostra-se o resultado do cálculo do tempo de meia vida do posto Aquidauana (Tabela 5.32) e posto km 21 – Miranda (Tabela 5.33).

Tabela 5.32. Tempo de meia vida (HFP) em dias para o posto Aquidauana

Q_0	$Q_{0/2}$	$1/K_b$	$\ln Q/Q_0$	$t = \text{HFP}$
42	21	0,0049	-0,69315	204
21	11	0,006	-0,69315	167
42	21	0,0067	-0,69315	149
HFP médio = 173 dias				

Tabela 5.33. Tempo de meia vida (HFP) em dias para o posto km 21 - Miranda

Q_0	$Q_{0/2}$	$1/K_b$	$\ln Q/Q_0$	$t = \text{HFP}$
26,0	13,0	0,0109	-0,69315	92
13,3	6,5	0,006	-0,69315	167
26,0	13,0	0,0075	-0,69315	133
HFP médio = 131 dias				

Verificou-se que a constante de recessão varia de 149 a 204, para o posto Aquidauana e de 92 a 167 para o posto km 21 – Miranda, que representa um índice de meia vida variando de 149 a 204 dias para o posto Aquidauana e, de 92 a 167 dias para o posto km 21 - Miranda. O valor intermediário em comum do índice de meia vida para os dois postos, é de 167 dias. Observa-se que o Rio Aquidauana é mais regular, demorando quase 6 meses para que sua vazão se reduza pela metade, enquanto que no Miranda, sua vazão atinge a metade em apenas 3 meses, na ausência de precipitação.

5.8. VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Os resultados da verificação da metodologia são apresentados na Tabela 5.34 e 5.35, respectivamente.

Tabela 5.34. Verificação da metodologia proposta para bacia sem dados (m³/s)

Indicadores de vazões extremas		P.Grego Área 4890 km ² Real	Proposta para bacia sem dados Vazão= A . L/s.km²		Fator de representatividade	Valor calculado	Erro relativo** %
Vazão específica L/s.km²			Valor calculado	Erro relativo %			
diária	1,10	19,5	5,4	72,4	1,46	7,85	59,7
7 dias	1,32	20,9	6,5	69,1	1,38	8,91	57,4
mensal	1,49	27,5	7,3	73,5	1,42	10,35	62,4
Indicadores de Estiagem							
7Q10	1,56	21	7,6	63,7	1,38	10,53	49,9
Q95	2,36	35	11,5	67,0	1,42	16,39	53,2
Erro médio				69,1			56,5

** = Erro relativo = 100 Abs [(Qobs. – Qcalc.) / Qobs].

Tabela 5.35. Verificação da metodologia proposta para bacia com poucos dados

Indicadores de vazões extremas		P.Grego Área 4890 km ²	Proposta para bacia com poucos dados		Fator de representatividade com poucos dados	Valor calculado com poucos dados	Erro relativo % com poucos dados***
			Valor calculado	Erro relativo %**			
Adimensional*		Real					
Mínima diária/Q _{lp} **	0,15	19,5	11,7	39,8	1,46	17,15	12,1
Mínima diária 7 dias/Q _{lp} **	0,18	20,9	13,9	33,6	1,38	19,15	8,4
Mínima mensal/Q _{lp} **	0,20	27,5	16,0	41,8	1,42	22,74	17,3
Estiagem							
7Q ₁₀ /Q _{lp}	0,18	21	13,9	33,9	1,38	19,15	8,8
Q ₉₅ /Q _{lp}	0,31	35	24,6	27,8	1,42	34,87	2,5
Q _{lp}		79					
Erro médio				35,4			9,8

* $Q_{lp} = 7,4$ L/s.km²

** $Q_{min}(t) / Q_{lp}$

*** o erro relativo é calculado por: 100 Abs [(Qobs. – Qcalc.) / Qobs].

A verificação da metodologia para o Rio Miranda não foi possível ser realizada nos moldes do Aquidauana, por não existir nenhum posto fluviométrico dentro da área do estudo. Far-se-á, então, a verificação com a aplicação do método proposto comparando com o método de regressão apresentado por TUCCI *apud* ELETROBRÁS (1983).

Indicadores de vazão (m ³ /s)	Posto km 21 – Miranda	Regressão $Q=0,00145*A^{0,806}*P^{5,94}*t^{0,136}$	Erro relativo % *
Mínima 7 dias	5,1	9,8	48
Mínima mensal	6,3	12	47,5

* o erro relativo é calculado por: 100 Abs [(Qobs. – Qcalc.) / Qobs].

Pelo exemplo acima, observa-se que a diferença entre os resultados obtidos pelo método proposto e a equação de regressão para vazão mínima, para o posto km 21 – Miranda apresentam erros relativos em torno de 48%. A utilização da equação de regressão poderia causar graves consequências se fosse tomada como base para a outorga de água.

5.8.1. Previsão da vazão de estiagem

Através do método proposto, pôde-se obter o tempo em que a vazão do posto Aquidauana levaria para chegar ao seu limite de racionamento, caso não chova no período. Essa previsão antecipada diminuiria as consequências de uma estiagem extrema.

Para melhor visualização do método utilizado, foram comparados os valores do ano de 2001 e 2002 e os valores obtidos pela equação do método proposto, mostrada na tabela 5.36 e figura 5.22. Para 2002 o R^2 é 0,8 e 2001 é 0,7, mostrando um ajuste apenas razoável, devido, provavelmente, a pequenas precipitações no período de estiagem.

Tabela 5.36. Verificação do método de previsão de estiagem (valores em m^3/s)

2001 dados observados	$Q_b = Q_0 * e^{-1/kb*t}$ $K_b = 149$	2002 dados observados	$Q_b = Q_0 * e^{-1/kb*t}$ $K_b = 149$
54,1	54,1	65,4	65,4
53,2	53,7	64,0	65,0
52,6	53,4	63,4	64,5
52	53,0	63,4	64,1
51,7	52,7	63,4	63,7
51,4	52,3	63,4	63,2
50,8	52,0	62,8	62,8
50,8	51,6	61,3	62,4
50,8	51,3	60,4	62,0
50,2	50,9	61,0	61,6
50,5	50,6	61,6	61,2
50,5	50,2	60,4	60,7
49,9	49,9	58,3	60,3
49,6	49,6	58,3	59,9
49,9	49,2	58,0	59,5
		58,0	59,1

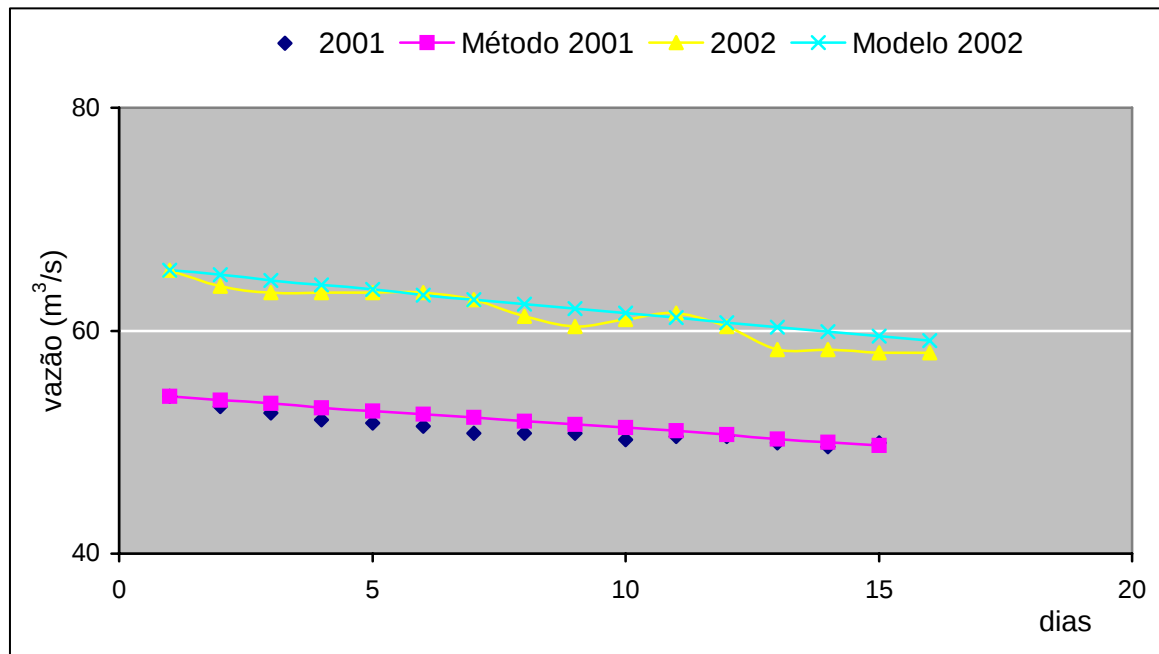


Figura 5.22. Verificação da utilização do método e os valores do ano de 2001 e 2002

5.8.2. Verificação dos indicadores de estiagem

A seguir, mostra-se os fluviogramas relativos ao posto Aquidauana e km 21 – Miranda, conforme citado no item 5.1. e agora já incluídos o indicador de estiagem Q_{95} e o de vazão mínima extrema ${}_7Q_{10}$.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos propostos foram analisar a série histórica de vazões dos postos fluviométricos existentes em sub bacias do Rio Miranda, verificando a consistência e a representatividade dos dados para o período crítico de estiagem, incluindo a análise da frequência de ocorrência, da permanência e da depleção do escoamento para um método de previsão na estiagem e; estimar os indicadores e índices característicos da vazão mínima, que permitirão a transferência dos indicadores dos postos fluviométricos para outro local dentro da bacia, obtendo-se uma rápida estimativa de vazões mínimas em locais sem dados ou com pouco dados, por uma simples proporção de áreas, fornecendo cenários de avaliação sem, entretanto, definir a concessão de outorga.

6.1. CONCLUSÕES

As principais conclusões são as seguintes:

As principais características do comportamento temporal de vazão mínima são: a variabilidade das vazões diárias, mensais e anuais, a duração ou permanência das vazões, a frequência de ocorrência, a constante de recessão do escoamento subterrâneo e a contribuição da vazão subterrânea.

O estudo indicou que o posto Aquidauana, possui a série hidrológica de maior representatividade entre as bacias do Rio Miranda e que os dados são considerados consistentes, principalmente, por ser o valor de vazão mínima diária da série, representada pelo valor de vazão medido em 09 de setembro de 1969, mínima que ocorreu a exatos 34 anos atrás, que se considera um marco histórico da série para vazões mínimas.

Entre as causas naturais que alteram a disponibilidade de água, destaca-se as flutuações sazonais com período de um ano. Ao final do período chuvoso a vazão superficial se reduz a zero e toda a vazão do rio é oriunda do subterrâneo, apresentando uma recessão bastante regular e previsível. O escoamento subterrâneo reage lentamente, atingindo o valor máximo anual ao final do período chuvoso e o valor mínimo anual entre agosto a setembro e algumas vezes com o atraso das chuvas, outubro/novembro. No período de um ano não é possível verificar mudanças muito expressivas na vazão subterrânea, porém vários anos de chuvas inferiores ou superiores à média podem mudar completamente o comportamento da bacia e o principal tipo de escoamento afetado é o subterrâneo.

Concluiu-se, também, que as enchentes aconteceram mais frequentemente, em anos recentes do que no início do período e as estiagens foram menos frequentes e menos

extremas em anos recentes, mostrando, assim, que a representatividade pode ser a condição básica para a estimativa das vazões mínimas.

O método proposto quando aplicado para uma bacia sem dados, resultou em erros relativos de até 69% reduzidos a 59% pelo fator de representatividade sugerido no estudo.

Para bacias com poucos dados, o método mostrou-se adequado, com erros de 35% e com fator de representatividade de apenas 9,8%, mostrando a importância de alguns dados para o cálculo da vazão média anual de longo período, na precisão das estimativas.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Considerando o que foi analisado e discutido neste trabalho, constatou-se a existência de poucos postos fluviométricos, principalmente para pequenas bacias, essencial para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos na determinação dos indicadores e índices de vazão mínima para outras bacias localizadas em Mato Grosso do Sul.

Estes resultados mostram a necessidade do seguinte:

- a) É necessário que se dê ênfase ao levantamento de informações hidrológicas básicas, num trabalho permanente de coleta e interpretação de dados, cuja confiabilidade torna-se maior à medida que as séries históricas sejam mais extensas e aumentando a disponibilidade de dados para pequenas bacias;
- b) Realizar estudos que analisem as modificações antrópicas que ocorreram nas bacias hidrográficas, verificando a estacionariedade da série histórica;
- c) Avaliar a variabilidade das vazões nas escalas espaciais;
- d) A regionalização de vazões não deve ser vista como uma solução para a extrapolação de escalas, mas como um auxiliar para entendimento do comportamento, melhoria dos dados e interpolação de resultados em regiões hidrológicas de comportamento similar. O uso deste tipo de técnica de forma indiscriminada pode gerar conflitos e prejuízos aos usuários da água.

Todos estes fatores são importantes e devem ser analisados os condicionantes que possam alterar as séries hidrológicas, principalmente porque o uso das mesmas será para o futuro, onde são planejados e gerenciados os sistemas hídricos.

7. REFERÊNCIAS

ABRH - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Política e sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos**. Comissão de Gestão. São Paulo, 1997.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 149-160, abr./jun., 2003.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de Informações Hidrológicas**. 2003a. Disponível em: <<http://www.hidroweb.gov.br>>. Acessos em: mar/2001 a mar/2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da região hidrográfica do Paraguai**. 2003b. Sistema de Informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.hidroweb.gov.br>>. Acesso em 29 ago 2003.

CARVALHO, N. O.; CUNHA, M. F. R.; CUNHA, M. A. C.. Rede hidrometeorológica da bacia do alto Paraguai. In: SIMPORH - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2, 2002, Campo Grande -MS. **Anais...** Campo Grande – MS: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos – seccional MS e UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 23 a 26 de julho de 2002. CD-ROM.

DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento. Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Paraguai. **Relatório técnico**. Rio de Janeiro: Ministério do Interior, 1974.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S/A. **Metodologia para regionalização de vazões**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, 1983.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. V.; OLIVEIRA, H. O. *et al.* O mais longo ciclo de cheia do pantanal. In: SIMPORH - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2, 2002, Campo Grande -MS. **Anais...** Campo Grande – MS: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos – seccional MS e UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 23 a 26 de julho de 2002. CD-ROM.

IDE, C. N. **Qualidade da drenagem pluvial urbana**. Porto Alegre: UFRGS – Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Dissertação de mestrado. 1984.

LANNA, A. E. L.; BENETTI, A. D. Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul. **Relatório Final**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Meio Ambiente, Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2000.

LANNA, A. E. L. **Gestão das Águas.doc**. Planejamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos. Curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais, UFMS, 1999, disponível em: <www.ufrgs.br/iph>. Acessos em: set a dez de 2000.

MATO GROSSO DO SUL. SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente / FEMAP - Fundação de Estado de Meio Ambiente Pantanal. Coordenadoria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental. Divisão de Controle Ambiental. **Relatório de qualidade das águas superficiais da bacia do Alto Paraguai – 1996**. Campo Grande, MS, 2000. 105p.

MATTOS, A. Método de previsão de estiagens em rios perenes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 5., 1983, Blumenau - SC. **Anais...** Blumenau – SC: Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – Escola de Engenharia de São Carlos – SP - USP, 1983.

MORELLI, S. L. (Org.). **Legislação ambiental do estado de Mato Grosso do Sul**. Associação Sul-Mato-Grossense do Ministério Público – ASMP e Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA/MS. Série – Textos Legais. Campo Grande – MS: UFMS, 2000.

NOBRE, M. M. e NOBRE, R. C. M. Caracterização hidrogeológica para o uso racional e proteção dos mananciais subterrâneos em Maceió-AL. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, Vol. 6, n. 1, p. 7-20, jan/mar, 2001.

RONDON, M. A. C. **Notas de sala de aula**. Hidrologia e Hidrometria Geral. Curso de Especialização em Saneamento Ambiental, com área de concentração em Saneamento Básico Ambiental, UFMS, 1998.

SANTOS, R., TUCCI, C. E. M. e SILVEIRA, A. *et al.* Estimativa do hidrograma de projeto com base na incerteza dos parâmetros do modelo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 6, n. 1. p. 29, jan./mar., 2001.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M. *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Edição Multimídia. Brasília: ANEEL, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001. Disponível em <<http://www.hidroweb.gov.br>>. Acesso em 01 jun 2002.

SILVA JÚNIOR, O. B.; BUENO, E. O.; TUCCI, C. E. M. *et al.* Extrapolação Espacial na Regionalização da Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 21-37, jan./mar., 2003.

SILVEIRA, G. L., ROBAINA, C. E. M. e GIOTO, A. L. L. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 5-11, jul./set., 1998.

SILVEIRA, G. L., TUCCI, C. E. M. e SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 111-131, jul./set., 1998.

SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: a review. **Journal of hydrology**. 240, 147-186, 2001.

STEFFEN, J. L.; PARANHOS FILHO, A.C.; ROCHA, F.de S.; RAMOS, N.H.; *et al.* Implementação de uma base de dados em ambiente sig para a bacia do rio miranda. In: SIMPORH - SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 2, 2002, Campo Grande -MS. **Anais...** Campo Grande – MS: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos – seccional MS e UFMS - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 23 a 26 de julho de 2002. CD-ROM.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, EDUSP, ABRH,. p. 573-611 (Coleção Abril de Recursos Hídricos), 1997.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS, ABRH, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002a.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso dos solos sobre os recursos hídricos**. Brasília: ANA – Agência Nacional de Águas, 2002b. Disponível em <<http://www.hidroweb.gov.br>>. Acesso em: 08 abr de 2003.

WMO. World Meteorological Organization. **International Glossary of Hydrology**. 2003. Disponível em: <<http://www.wmo.ch>>. Acesso em: 28 jan de 2003.